

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-250130

(43)Date of publication of application : 14.09.2001

(51)Int.Cl.

G06T 17/00
G06T 17/40

(21)Application number : 2000-059930

(71)Applicant : BEING:KK
CITEC CORP
YOSHIDA YASUHIKO

(22)Date of filing : 06.03.2000

(72)Inventor : YOSHIDA YASUHIKO
SHIIBA EIJI

(54) THREE-DIMENSIONAL CAD SYSTEM AND RECORDING MEDIUM FOR THE SAME

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a three-dimensional CAD system which reduces the load of computation processing by a computer by greatly decreasing the amount of data and makes the handling of planes consistent.

SOLUTION: This three-dimensional CAD system sets basic figure elements (PL, LL, SL, and VL) by using straight line coordinates, area coordinates, or volume coordinate parameters and connects the set basic figure elements continuously to generate a basic figure. The basic figure elements constituting the generated basic figure are deformed while enabled to be continuously differentiated to generate a desirable solid figure (identical topology figure). Thus all planes are approximated and represented by a patch to make the handling of the planes consistent, the amount of data for rendering the figure is greatly reduced, and the load of the computation processing by the computer is reduced. It is decided whether or not an element may be deleted by a reference counter RC showing whether or not the element is a constitution factor for other elements.

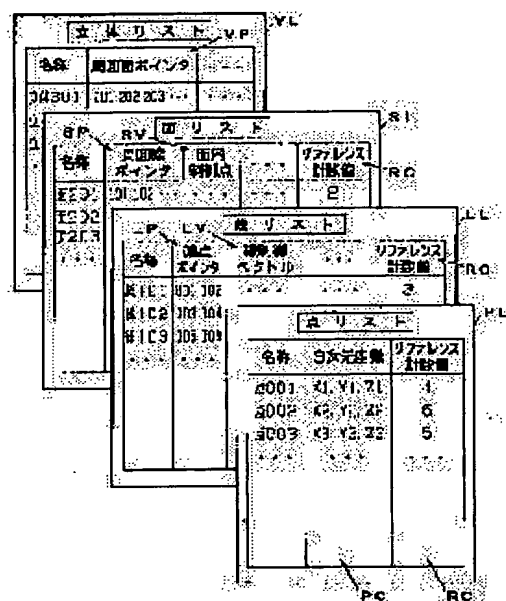


図1 面要素のデータ構造

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 15.01.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 24.02.2004

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection] 2004-05929

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection] 25.03.2004

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-250130
(P2001-250130A)

(43) 公開日 平成13年9月14日 (2001.9.14)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	デマコト* (参考)
G 0 6 T 17/00		G 0 6 F 15/60	6 2 2 A 5 B 0 4 6
17/40		15/62	3 5 0 K 5 B 0 5 0

審査請求 有 請求項の数 4 O L (全 33 頁)

(21) 出願番号 特願2000-59930 (P2000-59930)

(22) 出願日 平成12年3月6日 (2000.3.6)

(71) 出願人 397045758
株式会社ビーイング
三重県津市桜橋1丁目312番地

(71) 出願人 300014820
サイテック株式会社
愛知県安城市二本木町二ツ池28番地1

(71) 出願人 399113385
吉田 康彦
愛知県安城市今池町2丁目1番1号 コー
プ野村新安城A棟516号室

(74) 代理人 100107995
弁理士 岡部 恵行

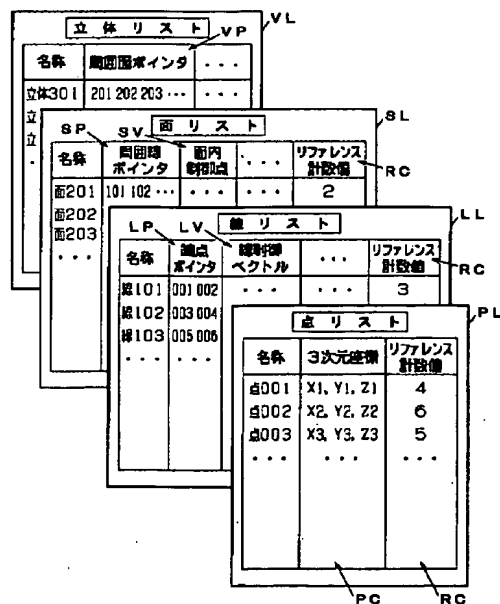
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 3次元CADシステム及びそのための記録媒体

(57) 【要約】

【課題】データ量を大幅に低減してコンピュータの演算処理の負荷を減少させ、しかも、面の取扱いに一貫性をもたせた3次元CADシステムの提供。

【解決手段】この発明による3次元CADシステムにおいては、直線座標、面積座標又は体積座標パラメータを用いて基本図形要素 (P L, L L, S L, V L) が設定され、設定された複数の基本図形要素を連続的に繋ぎ合わせて基本図形が生成される。生成された基本図形を構成する基本図形要素は連続微分可能性を保ちつつ変形され所望の立体図形 (同一トポロジー図形) が生成される。このように、パッチで全ての面を近似表現することにより、面の取扱いに一貫性をもたせ、図形を記述するためのデータ量を大幅に低減し、コンピュータの演算処理の負荷を減少させる。或る要素が他の要素の構成要因になっているか否かを示すレファレンスカウンタ R C により、当該要素を削除してよいか否かを判別する。



点、線、面及び立体要素のデータ構造

【特許請求の範囲】

【請求項1】点要素、並びに、直線座標、面積座標又は体積座標パラメータでそれぞれ定義される線要素、面要素又は立体要素を基本図形要素として設定する手段と、設定された複数の基本図形要素を接続して基本図形を設定する手段と、

設定された基本図形を構成する基本図形要素を連続微分可能性を保持しつつ変形して所望の立体図形を生成する手段とを具備することを特徴とする3次元CADシステム。

【請求項2】基本図形要素は、座標パラメータの総 n 次形式(n は、3以上の整数)で表現されることを特徴とする請求項1に記載の3次元CADシステム。

【請求項3】点要素は3次元位置座標をもち、線要素は、両端の点要素を指示するデータ及び中間制御点の相対位置を表わすデータをもち、面要素は、面を構成する線要素を指示するデータ及び面内制御点の相対位置座標を表わすデータをもち、立体要素は、立体を構成する面要素を指示するデータを表わすデータをもち、点要素、線要素及び面要素は、さらに、他のいくつかの要素から当該要素が参照されているかを示すリファレンス計数データをもつことを特徴とする請求項1又は2に記載の3次元CADシステム。

【請求項4】点要素を設定すると共に、直線座標、面積座標又は体積座標パラメータでそれぞれ定義される線要素、面要素又は立体要素を基本図形要素として設定するステップと、

設定された複数の基本図形要素を接続して、複数の座標パラメータで連続的に定義される基本図形を設定するステップと、
設定された基本図形を構成する基本図形要素を連続微分*

$$f(x, y, z) = 0$$

しかし、CAD方式では、通常、媒介変数(α , β)を使い、直交座標系における点(x , y , z)として次式*

$$(x, y, z) = S(\alpha, \beta)$$

ここで、 S はベクトル関数である。いま、(α , β)で定義される平面を「パラメータ平面」と呼ぶことにし、また、このパラメータ平面(α , β)に対応して点(x , y , z)の無限点群の集合で定義される実空間上の面を「写像面」と呼ぶことにする。

【0005】この場合、普通のCAD方式では、図2に示すように、パラメータ平面(α , β)は直交座標軸上の正四角形〔頂点(0, 0), (1, 0), (1, 1), (0, 1)〕で定義され、パラメータ平面(α , β)の内部で写像面を定義し、通常、 $0 \leq \alpha$, $\beta \leq 1$ の★

$$x = X(\alpha, \beta) \quad y = Y(\alpha, \beta) \quad z = Z(\alpha, \beta) \quad \dots (3)$$

【0006】現在実用化されているCAD方式が使用している自由曲面のほとんどは、NURBS (Non-Uniform Rational B-Spline : ナーブス) 曲面と呼ばれるもの

*可能性を保持しつつ変形して所望の立体図形を生成するステップとから成るプログラムを記録していることを特徴とする3次元CADシステムのための記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、3次元CAD (3 Dimensional-Computer Aided Design : 3D-CAD) システム、より詳しくいうと、「トポロジーCAD」(位相幾何学応用CAD)と呼ばれる基本的な幾何学理論を応用した3次元CADシステム及びそのための記録媒体に関する。

【0002】

【従来の技術】現在、コンピュータで3次元設計図を描く「3次元CAD」と呼ばれるシステムが脚光を浴びている。現用の3D-CADのほとんどは「ブール演算方式のソリッドCAD」と呼ばれる方式である。

【0003】このブール演算方式CADの方法では、例えば、図1〔1〕に示すように、四角い箱BXの上に円筒CYが貫いたような立体図形を定義する場合、円筒CYと立体BXの二つの基本図形を重ね合わせ、面S1と面S2との交差部の曲線(トリム線)TLを求め、面の不必要な部分を切り取る「トリム処理」を行う。また、ブール演算では、角張った図形が形成されることが多く、図1〔2〕に示すように、角面に丸みを付けてフィレット面FSを生成する「フィレット処理」と呼ばれる処理が必要となる。しかしながら、一般的に、トリム線TLもフィレット面FSも近似解で、面は厳密には相互に繋がっていない。

【0004】一般に、実空間を表わす x 、 y 、 z 軸の3次元直交座標系における3次元曲面は、数式上では、次式(1)のように表わされる：

$$\dots (1)$$

※(2)のように表現する：

$$\dots (2)$$

★範囲で実空間の面が表現される。図2は、パラメータ平面(α , β)において、 α 方向に $\alpha = 0$, $\alpha = \alpha_1$, $\alpha = \alpha_2$, ..., $\alpha = 1$ の($m+1$)点、 β 方向に $\beta = 0$, $\beta = \beta_1$, $\beta = \beta_2$, ..., $\beta = 1$ の($n+1$)点、総計($m+1$) \times ($n+1$)点の制御点が設定され、これらの制御点に対応して写像面(頂点 P_{00} , P_{m0} , P_{mn} , P_{0n})が定義されることを表わしている。実空間の写像面上の点 $P(x, y, z)$ は、直交座標系を使用したパラメータ α , β の関数であり、次式(3)のように表わされる：

で、次式(4)のような数式で表現されている：

【数1】

$$S(\alpha, \beta) = \frac{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n N_{ik}(\alpha) N_{jk}(\beta) W_{ij} P_{ij}}{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n N_{ik}(\alpha) N_{jk}(\beta) W_{ij}} \quad \dots (4)$$

ここで、

$N_{ik}(\alpha)$ 、 $N_{jk}(\beta)$ ：Bスプライン関数と呼ばれるもので、例えば、 α 方向に m 個の制御点がある面では、 $(m-1)$ 次の多項式で表される関数、

W_{ij} ：重み付け関数、

P_{ij} ：面制御点（位置ベクトル）、

$m+1$ 、 $n+1$ ： α 、 β 方向の制御点の数、制御点の総数は $(m+1) \times (n+1)$ 。

【0007】従来のCAD方式では、図2のように、パラメータ平面 (α, β) に直交座標系を用いており、複雑な局部形状を持つ面を定義する場合には、複雑さの程度に応じて、制御点の数 $n \times m$ を 10×10 、 \dots 、 50×100 というように増大して対応している。

【0008】また、パラメータ平面 (α, β) において縦軸及び横軸に平行に描かれた直線〔即ち、直線 $\alpha=0$ 、 $\alpha=1$ 、 $\beta=0$ 又は $\beta=1$ （実空間での面の境界を表わす）、或いは、 α が一定又は β が一定の値で表現される直線〕は、写像空間（実空間）ではパラメータ α 、 β の高次関数で表わされる。例えば、3次ベジェ（Bezier）パッチやクーンズ（Coons）パッチ等の方式のような場合、パラメータ平面 (α, β) におけるこれらの直線は、実空間上では、3次ベジェ曲線：3次のパラメトリック曲線で表現することができる。しかしながら、この方式の場合でも、 $\alpha=\beta$ で表現されるパラメータ平面 (α, β) を斜めに切るような直線（ $u=\alpha=\beta$ ）に対応する実空間の写像曲線は、パラメータ（ u ）の6次式で表わされる6次関数になってしまう。

【0009】このような曲線で表現される曲面を使用して、複数面を上下左右に連続的に定義することは可能であるが、複数面を斜めに繋ぐことはできない。すなわち、無限の3次のベジェ曲線の集合で定義された3次のベジェ曲面は、見方によっては、6次のベジェ曲線の集合のようにも見えてしまうと云うことであり、3次曲線と6次曲線との境界を共有することは不可能である。従って、このような条件は、図形を生成する上で極めて厳しい制約となる。

【0010】一般に、境界線で表現された面はその内部がどのように定義されているかが分からない。面を平面で切った断面線（線図）で面の形状を評価することもあるが、色染め（shading：シェーディング、陰影付け）で面の形状を目で確かめる事が自然な方法である。また、この数学的に定義された面に沿ってNC工作機械で加工すると、コンピュータの中の仮想の面は実物になる。

【0011】種々の面を使用するソリッドCAD方式や、複雑な数式で定義された従来の自由曲面においては、論理的な演算処理を一貫して実行するのが不可能なことから、最終的には、図3に示されるように、最小の自由度で表現される面素、即ち、微小平面〔通常、細かな三角の平面要素〕PTに分解する。つまり、立体の全ての曲面を微小平面PTに分解してその集まり〔「多面体（ポリゴン）」と呼ばれる〕PPで近似するような線形離散化処理を用いて演算処理を行うので、演算結果は平面や折線で近似されたものになる。このように、現用のCAD方式では、無限に広がって定義される平面の一部を切り取った三角形PTの繋ぎ合わせたポリゴンPPで曲面が近似表現され、この微小三角平面PTの並び方を制御するために、広い空間を表現する曲面表現式（NURBS曲面等）が利用されているといえることができる。

【0012】また、現用のCAD方式やCG（Computer Graphics）により色染めを行う場合には、多面体（ポリゴン）の角点の色（陰影度）を計算し、残りの部分は連続的なぼかし処理（グローシェード、フォンシェード）を行っている。従って、現用のコンピュータ技術では目視による面の連続性を評価することができない。このように、従来のCAD技術における線形離散化近似は、工作機械を制御して形状を削り出すNC加工においても重大な問題を内包している。

【0013】このように、ソリッドCAD方式においては、（1）円筒や円錐、六面体等という2～2.5次元の基本図形（プリミティブ）の重ね合わせを行うブール演算により図形を作成する、（2）面と面の重なる部分にはフィレット面を張る必要があり、このフィレット処理には無理があり、意匠設計に不向きである、（3）曲面処理では、ほぼ四角の面を定義し、トリム処理を施して面の形状を整える必要がある、（4）これらの演算処理はポリゴン近似（線形離散化近似）を行って線形代数論を応用して近似計算を行っている等の特徴をもつので、設計のプロセスを最初から再現するという長所があるものの、データ量が多大であってコンピュータの演算処理の負荷が過大であり、また、面の取扱いに一貫性がない等の欠点がある。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】この発明は、このような事情に鑑み、「トポロジー」と呼ばれる基本的な理論を3次元CADシステムに応用することにより、データ量を大幅に低減し、コンピュータの演算処理の負荷を減

少させ、しかも、面の取扱いに一貫性をもたせた3次元CADシステムを提供することを目的とする。

【0015】

【課題を解決するための手段】この発明の主たる特徴に従うと、点要素、並びに、直線座標、面積座標又は体積座標パラメータでそれぞれ定義される曲線（直線を含む）要素、曲面（平面を含む）要素又は立体要素を基本図形要素として設定する手段と、設定された複数の基本図形要素を接続して基本図形を設定する手段と、設定された基本図形を構成する基本図形要素を連続微分可能性を保ちつつ変形して所望の立体図形を生成する手段とを具備する3次元CADシステムが提供される。

【0016】ここで、基本図形要素は、好ましくは、座標パラメータの総 n 次形式（ n は、3以上の整数）で表現され、つまり、生成される立体図形は、座標パラメータの同一次数（ N ）の線形結合で表現される空間座標をもつ点群で定義される。

【0017】また、点要素は3次元位置座標を持ち、線要素は、両端の点要素を指示するデータ（端点ポイント）及び中間制御ポイントの相対位置を表わすデータ（中間点制御ベクトル／線制御ベクトル）をもち、面要素は、面を構成する線（境界線／外周線／周囲線）要素を指示するデータ（境界線／外周線／周囲線ポイント）及び面内制御ポイント（内部制御ベクトル）の相対位置座標を表わすデータをもち、立体要素は、立体を構成する面（境界面／外周面／周囲面）要素を指示するデータ（境界面／外周面／周囲面ポイント）を表わすデータをもち、点要素、線要素及び面要素は、さらに、他のいくつかの要素から当該要素が参照されているかを示すリファレンス計数データ（参照カウント／依存親数）をもつ。

【0018】また、この発明の主たる特徴に従い、直線座標、面積座標又は体積座標パラメータでそれぞれ定義される線要素、面要素又は立体要素を基本図形要素として設定するステップと、設定された複数の基本図形要素を接続して基本図形を設定するステップと、設定された基本図形を構成する基本図形要素を連続微分可能性を保ちつつ変形して所望の立体図形を生成するステップとから成るプログラムを記録している3次元CADシステムのための記録媒体が提供される。

【0019】【作用】この発明によると、直線座標、面積座標又は体積座標パラメータでそれぞれ定義される線要素、面要素又は立体要素を基本図形要素（実施例では「要素図形」として設定し、これらの基本図形要素を相互に接続して、複数の座標パラメータで連続的に定義される基本図形（実施例では「部品図形」又は「パーツ」）を設定し、設定された基本図形を変形して所望の立体図形を生成する。これにより、面要素は、従来のCAD方式における面処理方式に対比して、広い領域を一つのパッチ（最小の自由度で表現される面素）で表現することが可能になる。また、パッチが連続的に繋がった

空間図形、即ち、連続微分可能な空間図形が定義され、しかも、このパッチで全ての面を近似表現するようにしているので、面の取扱いに一貫性をもたせることができる。従って、図形を記述するためのデータ量を大幅に低減し、コンピュータの演算処理の負荷を減少させることができる。

【0020】さらに、この発明によると、生成される立体図形が、座標パラメータの総3次形式で表現される空間座標をもつ点群で定義される場合は、演算数を必要以上に増大せず、面端の接線を連続的に接合する関係を維持しつつ面を制御し、十分に実用的な3次元図形表現を得ることができる。

【0021】さらに、この発明によると、点要素は3次元座標データをもち、線要素は端点ポイント及び中間制御点データをもち、面要素は外周線ポイント及び面内制御点データをもち、立体要素は、外周面ポイントを表わすデータをもち、点要素、線要素及び面要素は、リファレンス計数データをもたせている。従って、或る要素を削除しようとする場合、リファレンス計数データを参照して当該要素が他の要素の構成要因になっているか否かを確認し、削除の可否を有効に判別することができる。

【0022】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しつつ、この発明の好適な実施例を詳述する。なお、以下の実施例は単なる一例であって、この発明の精神を逸脱しない範囲で種々の変更が可能である。

【0023】【形状モデルデータの構造】この発明の一実施例による3次元CADシステムにおいて、形状モデルデータは、図4に示すように、ベースクラスを頂点とするクラス階層を持つオブジェクト群であり、ベースクラスから派生するオブジェクト群を大きく分類すると、所謂形状を持つ図形を表わす図形データ〔これらの集合体である部品図形（パーツ）も含む〕、及び、形状を持たない属性データの二種類に分けられ、さらに、NC加工に用いるカッターパスも形状モデルデータの一種として含めて、三種類とすることができる。また、図形データは、形状モデルを構成している本来の形状図形データ、及び、それらに付随する補助図形データ（寸法線など）に分けられる。

【0024】先ず、形状図形データは、点要素PE、線（曲線）要素LE、面要素SE及び立体要素VEといった要素図形（基本トポロジー）から成り、面要素SEは、例えば、三角面要素（三角パッチ）SEt及び四角面要素（四角パッチ）SEqに分けられ、立体要素VEは、例えば、4つの三角面からなる四面体要素VEq、2つの三角面と3つの四角面からなる五面体要素VEp、及び、6つの四角面からなる六面体要素VEhに分けられる。これらの基本図形要素群は、それぞれでモデル形状を表現するのではなく、これらが集合し合成された部品図形（以下「パーツ」も呼ぶ。）により形状モデ

ルが構成されており、これら基本図形要素自体はパーツに含まれる一要素となっている。

【0025】パーツは、点、線など要素図形以外に、例えば、寸法線等の補助図形やグループ選択情報など形状以外のデータもその中に含めて持つことができる。さらに、他のパーツもその中に含むことができる。つまり、パーツは、再帰的な階層構造を作ることができ、形状モデル全体は、このパーツの階層構造によって表現される。

【0026】また、補助図形データには、例えば、寸法線、寸法線に付随する引出し線（寸法線用引出線、R線用引出線等）、面の法線ガイドなどがあり、属性データには、図形ではないが図形を表現し管理するために必要な座標系や図形グループ選択情報などがある。

【0027】以上述べた形状モデルデータの派生オブジェクトに対して、ベースクラスには、派生オブジェクトの全てに共通する基本属性データが格納されている。このベースクラスのクラス定義には、例えば、オブジェクトのデータ型（所属クラス）を識別する「データタイプ」、自身へのポインタ、親座標系情報（親座標系ポインタ、親座標系 I/O シーケンス No.）、自身の図形がある相対位置関係を持って乗っかっているという関係にあることを表わすための親図形（親亀）情報（親図形ポインタ、親図形データタイプ、親図形 I/O シーケンス No.）、表示や編集操作を制御するためのフラグ類を含む各種状態情報〔選択属性、表示モード（表示/非表示）、移動可否、実体/コピー、表示・非表示（フラグ）、依存親数（リファレンス計数値）、穴となる図形か否か（穴となる図形は、レンダリング過程で内部の或る範囲を色染めしない）を判別するための正データ/負データ判別フラグ〕、外部ファイル I/O 用情報（I/O シーケンス No.）などの基本属性データがある。

【0028】なお、「依存親数（リファレンス計数値）」は、他のモデルデータからの参照数を示すもので、この値が0ならば、他のどのオブジェクトからも参照されていない単独オブジェクトであることを意味する。また、複数から参照されることもあるので、この値は2以上になることもある。このカウンタは、他のオブジェクトから参照される。つまり、例えば、図形の合成（親子関係の成立）により、そのオブジェクトのポインタが、参照する側のポインタ変数に代入される度に1だけカウントアップされる。また、例えば、図形の分割（親子関係の解消）により、参照が切れる（つまり、参照されなくなるか、それ以外のオブジェクトへの参照に変更される）とき1だけカウントダウンされる。

【0029】〔部品図形（パーツ）〕前述したように、形状モデルはパーツの組み合わせとして表現され、これらパーツは再帰的な階層構造を成すことによって、比較的簡単な部分形状から複雑な全体形状へとモデルを階層的に構成することができる。また、パーツ自身は、後で

詳述する点要素や線（曲線）要素、面要素および立体要素の要素図形（基本トポロジー）の組合せとして表現される。パーツの属性には、例えば、親パーツ情報（親となるパーツのポインタ及び I/O シーケンス No.）、パーツローカル座標系（パーツローカル座標系、ローカル座標系 I/O シーケンス No.）、パーツの構成情報（パーツ形状データブロック、パーツ名称）、表示制御フラグ（座標系表示フラグ、パーツ表示フラグ）などがある。

【0030】親パーツ情報は、これを辿ることによりパーツの再帰的な階層構造を表現している。それぞれのパーツは、また、ローカル座標系を持ち、そのパーツの親パーツのローカル座標系での位置、姿勢及びスケールを保持している。そして、パーツを構成する形状要素群は、下位のパーツ（子パーツ）も含めて、このパーツローカル座標系の中に配置されることになる。従って、パーツの階層は座標系の階層でもある。因みに、親を持たない最上位のパーツはワールド座標系に配置されていることになる。さらに、パーツは、人間に理解できる文字列形式の名称を持つことができ、これにより利用の便を図る。

【0031】パーツは、それを構成する全ての要素図形群、補助図形群及び下位パーツ群をリスト形式で保持しており、また、グループ選択情報など図形以外のデータ群についても同様の形式で保持している。パーツを構成しているモデルデータには、例えば、各要素図形単位の要素図形構成リスト〔点リスト、線（曲線）リスト、面（三角面、四角面など）リスト、立体（四面体、五面体、六面体など）リスト〕、下位パーツリスト、補助図形リスト（寸法線リスト、引出し線リスト）、グループ選択リストなどがあり、レイヤー No. 等とともに、それぞれの種別毎にリストとして格納される。

【0032】〔ローカル座標系〕ローカル座標系は、ベースクラスの派生クラスで、属性にのみ注目すると、例えば、座標系変換マトリクス（親座標系相対）〔平行移動（ x, y, z ）、回転（ x, y, z 各軸周回回転角度）〕、軸（メッシュ）表示制御情報（各軸方向の目盛り幅、各軸と垂直方向の目盛り幅、各軸の長さ、各軸方向のメッシュ数、各軸と垂直方向のメッシュ数）、表示制御用データ（描画データ保持エリア、画面のちらつき防止用）、表示の際に使用する計算値（ワールド変換マトリクス）〔原点位置ベクトル、X 軸（1, 0, 0）ベクトル、Y 軸（0, 1, 0）ベクトル、Z 軸（0, 0, 1）ベクトル〕などが定義される。

【0033】座標系の変換は、親座標系上での原点位置（平行移動）および各軸（X, Y, Z 軸）周りの回転量で表現される。また、オブジェクトを画面に表示する場合、ローカル座標系 $P_l(x, y, z)$ からワールド座標系 $P_w(X, Y, Z)$ への座標変換は、予め座標系の階層を反映して計算されたワールド変換マトリクス T_w

を使い、次式(5)により一気に行う：

$$Pw(X, Y, Z) = P1(x, y, z) \times Tw \quad \dots (5)$$

【0034】〔グループ選択情報〕グループ選択情報は、パーツ内部のオブジェクトを何等かの理由でグループとして纏めるための情報であり、グループに属するオブジェクト群を集約して持つことができる。グループ選択情報のデータ構造は、例えば、対象データリストグループ名、選択図形I/OシーケンスNo.、リスト等から成る。グループに属すオブジェクト群は、メモリ上では、オブジェクトへのポインタのリストを持つことにより管理する。しかし、外部ファイルに格納された状態ではポインタ使用できないので、各オブジェクトのI/OシーケンスNo.を文字列形式のリストとして保存し、読み込み時に、このシーケンスNo.をオブジェクト群のポインタへ変換する。

【0035】〔座標パラメータと基本図形要素(要素図形)〕この発明の一実施例による3次元CADシステムにおいては、基本図形要素(基本トポロジー)となる要素図形として、大きく分類して、0次元要素である点要素PE、1次元要素である線(曲線)要素LE、三角面、四角面などの2次元要素である面(曲面)要素SE、及び、四面体、五面体、六面体などの3次元要素である立体要素VEが設定される。これらの要素図形は、全てベースクラスの派生クラスとして定義され、それぞれ、ベースクラスの属性を引き継ぐと共に、各々独自の*

$$P(x, y, z) = Pp(\alpha, \beta, \dots) + Po \quad \dots (6)$$

【0038】ここで、 $Pp(\alpha, \beta, \dots)$ は、親図形での点の面積座標パラメータ (α, β, \dots) から計算された三次元空間座標である。つまり、親図形上で面積座標値 (α, β, \dots) を移動させると、図5(2)に示すように、オフセットPoをもって点要素PEが親図形Pに沿って移動することを意味している。なお、特殊なケースとして親図形が他の点要素PEである場合は、 $Pp(\alpha, \beta, \dots)$ =親の座標 (x, y, z) として扱う。

【0039】〔2〕線要素LE
線(曲線)要素LEの場合、その形状を表現するデータは、線の2端点、端点での接線ベクトルに応じた制御ベクトル〔線制御ベクトル、(中間)制御点ベクトルともいう〕、制御点のオフセットベクトルであり、これらの*

$$P = P(\alpha 1, \beta 1) \quad \dots (7)$$

ただし、条件より、常に、次式(8)の関係が成り立 ★ ★つ：

$$1 - (\alpha 1 + \beta 1) = 0 \quad \dots (8)$$

従って、式(8)から、一方のパラメータ(例えば、 $\alpha 1$)の値が決まれば、残りのパラメータ(例えば、 $\beta 1$)の値は定まる($\alpha 1 = 1 - \beta 1$, $\beta 1 = 1 - \alpha 1$)。

【0041】なお、これに一般的に説明を加えると、長☆

$$1 - (\alpha 1 + \beta 1) = k1 \cdot Sab \quad \dots (9)$$

ここで、点Loを直線ABへの垂線に沿って直線ABに近づけて行き点Lに至らせた場合、直線ABを底辺とす

*属性データを付加している。また、要素図形は面積座標パラメータ $\alpha, \beta, \gamma, \dots$ で定義される。すなわち、より厳密にいうと、線要素LE、面要素SE又は立体要素VEは、それぞれ、直線座標パラメータ $\alpha 1, \beta 1$ 、面積座標パラメータ $\alpha 2, \beta 2, \gamma 2, (\delta 2, \dots)$ 、体積座標パラメータ $\alpha 3, \beta 3, \gamma 3, \delta 3, \dots$ で定義される。

10 【0036】〔1〕点要素PE

点要素PEに付加されるデータで本質的なものは、ローカル座標系での3次元座標値、親図形での面積座標値、親図形からの相対オフセットであり、例えば、点要素PEのデータ構造は、図形状データ〔点の三次元座標値、親図形での面積座標パラメータ、オフセット長さ、オフセット(変形)〕や、表示用/編集用ワークエリア(描画データ保持エリア、画面のちらつき防止用)などである。

20 【0037】点要素PEの親となる図形は、他の点要素PE、線要素LE及び面要素SEの何れかであり、点要素PEの三次元空間上での座標値 $P(x, y, z)$ は、親図形を持たない最上位図形である場合、図5(1)に示すように、ベクトルPoで表わされ、親図形を持つ場合は、次式(6)により求めることができる：

※データを用い、面積座標 (α, β) をパラメータとする所与の総n次式(例えば、3次式)で曲線の形状を表現する。ここで、線には直線と曲線の区別はなく、直線は曲線の特別なケースと見なす。また、以下、線要素LEについて、面積座標パラメータ α, β として特に記号 $\alpha 1, \beta 1$ を用いて説明する。

【0040】図6(1)に示すように、長さ値が「1」の直線ABを2つの線分AL, LBに区分し、各の線分LB, LAの長さ $\alpha 1, \beta 1$ を表わす直線座標値を面積座標パラメータ(厳密に言えば、直線座標パラメータ)とし、実空間 (x, y, z) に写像される線要素LE上の位置ベクトルPを次式(7)で表現する：

☆さ値が「1」の直線ABに対して点Loを想定して、直線ABを底辺とする三角形 $\triangle L o A B$ の面積 $S a b$ 及び形状計数 $k 1$ を導入し、次式(9)で表わされる直線座標パラメータ値 $\alpha 1, \beta 1$ を考慮する：

50 る三角形 $\triangle L A B$ の面積 $S a b = 0$ となり、式(9)から式(8)が得られる。

【0042】面積座標 $(\alpha 1, \beta 1)$ は、

$$\alpha 1 + \beta 1 = 1$$

という関係を満たすものとしている。これは、単純に言う、線(曲線)要素LE上の点Pが端点PA、PBに対してどこに位置あるかについて、面積座標パラメータ空間上で考えて、それぞれの端点からの距離比を表現すると解釈することができる。ただし、点Pが線分(弧)の外にある場合は、何れかが負の値になる。また、面積座標 $(\alpha 1, \beta 1)$ から三次元空間座標 $P(x, y, z)$ への写像は、例えば、面積座標パラメータ $(\alpha 1, \beta 1)$

$$P = A_{10} \alpha 1^3 + A_{11} \beta 1^3 + A_{12} \alpha 1^2 \beta 1 + A_{13} \alpha 1 \beta 1^2 \quad \dots (11)$$

ここで、係数ベクトル $A_{10} \sim A_{13}$ は、2つ(端点PA、PB)の端点ベクトル及び2つ(端点PA、PB)における(線)制御ベクトル(中間制御点ベクトル) T_{ab} 、 T_{ba} の計4個の制御変数から算出される。係数ベクトル A_{10} 、 A_{11} は、 A_{10} =端点PAの実空間座標値、 A_{11} =端点PBの実空間座標値とし、 A_{12} 、 A_{13} については、例えば、 $A_{12} = 3 \times (A_{10} + T_{ab})$ 、 $A_{13} = 3 \times (A_{11} + T_{ba})$ とするのがよい。

【0044】このように係数ベクトル $A_{10} \sim A_{13}$ を設定した場合、図6(1)において、線要素PE上におけるパラメータ値 $\alpha 1 = 1/3$ 、 $\beta 1 = 2/3$ の点 P_{ab} 、及び、 $\alpha 1 = 2/3$ 、 $\beta 1 = 1/3$ の点 P_{ba} は、それぞれ、制御ベクトル T_{ab} 、 T_{ba} に対応する。制御ベクトル T_{ab} 、 T_{ba} は、この設定例の場合、端点PA、PBでの線要素LEの接線ベクトル $T_{\beta a}$ 、 $T_{\alpha b}$ の $1/3$ 倍とされる。ここで、接線ベクトル $T_{\beta a}$ は、 $\alpha 1 = 1$ 、 $\beta 1 = 0$ のときの $dP/d\beta 1$ であり、接線ベクトル $T_{\alpha b}$ は、 $\alpha 1 = 0$ 、 $\beta 1 = 1$ のときの $dP/d\alpha 1$ である。

【0045】なお、真に直線の場合は、

$$T_{ab} = (A_{11} - A_{10}) / 3 \quad \dots (12)$$

$$T_{\beta} = -3 \times \alpha^2 A_{10} + 3 \times (\alpha^2 - 2 \times \alpha 1 \beta 1) (A_{10} + A_{12}) - 3 \times (\beta^2 - 2 \times \beta 1 \alpha 1) (A_{11} + A_{13}) + 3 \times \beta^2 A_{11} \quad \dots (12)$$

【0047】端点PAでの線要素LEの接線ベクトル $T_{\beta a}$ は、上式(12)で、 $(\alpha 1, \beta 1) = (1, 0)$ とすることにより、

$$T_{\beta a} = 3 \times A_{12}$$

が導かれる。また、端点PBでの線要素LEの接線ベクトル $T_{\alpha b}$ については、同様にして、点PBから点PAに向かう線要素LE上の接線ベクトル $T_{\alpha} = dP/d\alpha 1$ において $(\alpha, \beta) = (1, 0)$ とすると、

$$T_{\alpha b} = 3 \times A_{13}$$

が得られる。従って、ベクトル $T_{\beta a}$ 、 $T_{\alpha b}$ は、制御ベクトル A_{12} 、 A_{13} の3倍となる

【0048】つまり、端点PAでの接線連続性を保ちつつ線要素LEを変形する場合には、端点PBでの端点ベ

... (10)

* $\beta 1$ について対称な総三次式により計算する。

【0043】面積パラメータ空間 $(\alpha 1, \beta 1)$ に対応して実空間 (x, y, z) に写像される線要素LE上の位置ベクトルPは、これら2つの面積座標パラメータ $\alpha 1, \beta 1$ を利用して、面要素SE上の点Pの3次元相対位置座標値で表わされ、総3次表現形式で記述される場合は次式(11)で表わされる：

$$* T_{ab} = (A_{10} - A_{11}) / 3$$

であるので、

$$A_{12} = 2.0 \times A_{10} + A_{11}$$

$$A_{13} = A_{10} + 2.0 \times A_{11}$$

となり、これを上記した写像式(11)に直接当てはめると、

$$P(x, y, z) = A_{10} \alpha 1 + A_{11} (1 - \alpha 1)$$

または

$$P(x, y, z) = A_{10} (1 - \beta 1) + A_{11} \beta 1$$

となり通常の直線表現が得られる。

【0046】この写像をもう少し詳しく説明すると、

$(\alpha 1, \beta 1) = (1, 0)$ のとき $P(x, y, z) = A_{10}$ となり、 $(\alpha 1, \beta 1) = (0, 1)$ のとき $P(x, y, z) = A_{11}$ となるので、線要素LEは、それぞれ計数ベクトル A_{10} 、 A_{11} で表わされる端点PA、PBを通ることが分かる。また、写像式(11)をパラメータ $\beta 1$ で微分すると、点PAから点PBに向かう線要素LE上の接線ベクトル $T_{\beta} = dP/d\beta 1$ について、

次式(12)が得られる：

クトル A_{11} 及び制御ベクトル A_{13} を任意に変化することができ、端点PBでの接線連続性を保ちつつ線要素LEを変形する場合には、端点PAでの端点ベクトル A_{10} 及び制御ベクトル A_{12} を任意に変化することができる。なお、端点PA又は端点PBにおける曲率ベクトルは、それぞれ、曲率ベクトル $dP^2/d\beta 1^2$ 又は $dP^2/d\alpha 1^2$ の式に $(\alpha 1, \beta 1) = (1, 0)$ 又は $(1, 0)$ を代入することにより得られるが、端点PA又は端点PBで曲率連続までも保持しつつ線要素LEを変形する場合には、端点PBの端点ベクトル A_{11} のみ又は端点PAの端点ベクトル A_{10} のみしか変化することができない。

【0049】また、線要素LEのデータ構造は、上述した図形形状データ〔線の2端点、直線化フラグ、制御点

ベクトル、制御点オフセット(変形)の外、例えば、計量計算用分割数、端点へのベクトル移動選択フラグ、表示/編集用のワークエリア(描画データ保持エリア、画面のちらつき防止用、端点I/OシーケンスNo.等を備える。

【0050】図6(2)は、直線を表わす2つの線要素LE1、LE2を共通の端点PBで接線連続にして連続化する場合のイメージを示している。つまり、2つの線要素LE1、LE2を接線連続にするには、端点PBにおける制御ベクトルTba、Tbcを相互に逆向きにすればよい。また、曲率まで連続させるには、制御ベクトルTba、Tbcの長さ|Tba|、|Tbc|を同じにすればよい。

【0051】〔2〕面要素SE

次に、面要素SEにおいては、面の境界となる線(曲線)(境界線、外周線、周囲線ともいう)、内部制御点ベクトル(面内制御ベクトル)、制御点オフセット(変形)の3データで形状を表現し、これらの属性値から決定される係数ベクトルを用い面積座標(α , β , γ , ...)をパラメータとする所与の総n次式(例えば、3次式)で曲面の形状を表現する。

【0052】面要素SEのデータ構造は、具体的には、三角面や四角面などの各面要素毎に、以下三角面要素(三角パッチ)SEtや四角面要素(四角パッチ)SEqの項で詳しく説明する図形形状データ[面のn頂点($n=3, 4, \dots$)、面のn境界線(曲線)、内部制御点ベクトル]の外、例えば、計量計算用分割数、制御点オフセット(変形)、内部制御点選択フラグ、色パレットNo.、マイナスパッチ用(穴表示)データ(zパツク

$$S_{ab} = 1 - (\alpha_2 + \beta_2) \quad \dots (13)$$

$$S_{bc} = 1 - (\beta_2 + \gamma_2) \quad \dots (14)$$

$$S_{ca} = 1 - (\gamma_2 + \alpha_2) \quad \dots (15)$$

とすると、値 α_2 , β_2 , γ_2 は面積 S_{bc} , S_{ca} , S_{ab} を間接的に表わす面積座標値である。この面積座標値 α_2 , β_2 , γ_2 をポイントSについての三角形面※

$$P = P(\alpha_2, \beta_2, \gamma_2) \quad \dots (16)$$

ただし、条件より、常に、次式(17)の関係が成り立★ ★つ:

$$1 - (\alpha_2 + \beta_2 + \gamma_2) = 0 \quad \dots (17)$$

【0056】極端な例を挙げると、ポイントSを頂点A上においた場合、各三角形面積座標パラメータの値は、 $\alpha_2=1$, $\beta_2=\gamma_2=0$ となり、頂点B上においた場合は、 $\alpha_2=0$, $\beta_2=1$, $\gamma_2=0$ となり、頂点C上においた場合は、 $\alpha_2=\beta_2=0$, $\gamma_2=1$ となる。従☆

$$\alpha_2 + \beta_2 + \gamma_2 = 1$$

という関係があり、3つの頂点PA, PB, PCは、面積座標(α_2 , β_2 , γ_2)=(1, 0, 0), (0, 1, 0), (0, 0, 1)に対応する。また、単純に表現すれば、三角面要素SEtは、各頂点PA, PB, PC間に3つの境界線Lab, Lbc, Lcaを持ち、後述するように、形状を制御するために面内制御ベクトル

*ファーストパッチ用範囲手前/奥距離等)、表示/編集用のワークエリア(描画データ保持エリア、画面のちらつき防止用、頂点及び境界線I/OシーケンスNo.等を備える。ここで、面要素SEのn個の頂点もデータとして持つようにしているが、これらは、面要素SEの境界線の端点を表わすデータである。これらの頂点データは、境界線の繋がり状態を考慮して境界線の端点を配置したものであり、各々どれか2本の境界線の端点且つ交差点となっている。

【0053】なお、面要素SEについては、任意の多角形(n角形)面積座標パラメータ α , β , γ , ...を用いることができるが、特に、前掲した三角面要素SEt及び四角面要素SEqは利便性が高い。以下、各面要素SEについて、面積座標パラメータ α , β , γ , ...として特に記号 α_2 , β_2 , γ_2 , ...を用いて説明する。

【0054】(A)三角面要素(三角パッチ)SEt: 三角面要素SEtにおいては、その形状を表現しているデータは、面の境界となる3つの線(曲線)、内部制御点ベクトル、制御点オフセット(変形)の3つであり、これらの属性値から決定される係数ベクトルを用いて、面積座標(α_2 , β_2 , γ_2)をパラメータとして、例えば、所与の総3次式で三角曲面の形状を表現する。

【0055】三角形($n=3$)面積座標パラメータを用いる場合には、図7に示すように、面積の値が「1」の正三角形 $\triangle ABC$ に対してポイントSを定め、3つの小三角形 $\triangle SAB$, $\triangle SBC$, $\triangle SCA$ に区分し、各小三角形 $\triangle SAB$, $\triangle SBC$, $\triangle SCA$ の面積 S_{ab} , S_{bc} , S_{ca} を

※面積座標パラメータとし、実空間(x, y, z)に写像される面要素SE上の位置ベクトルPを次式(16)で表現する:

☆つて、式(17)から、2つの三角形面積パラメータ(例えば、 α_2 , β_2)の値が決まれば、残りの三角形面積パラメータ(例えば、 γ_2)の値は定まる。

【0057】このように、三角面を表わすための面積座標(α_2 , β_2 , γ_2)には、

$$\dots (18)$$

(内部制御点ベクトル)Vsを付加したものであるということが出来る。

【0058】面積座標(α_2 , β_2 , γ_2)は、面が本質的に二次元である故、実は2つの独立なパラメータ(x, y)から計算できる筈なので、これらの関係は、

$$\alpha_2 = 1 - \beta_2 - \gamma_2$$

$$\beta 2 = p$$

$$\gamma 2 = q$$

で定義することができる。この定義によると、任意の点 (p, q) に対して $\alpha + \beta + \gamma = 1$ の関係が成立することから、座標 ($\alpha 2, \beta 2, \gamma 2$) は何らかの3つの量の比を表わしていると考えられる。実際、図7のように、或る三角形△ABCについて、その内点S (p, q) で分割したときの3つの三角形の面積比を表わしている。また、このように面積座標 ($\alpha 2, \beta 2, \gamma 2$) が決まると、パラメータ (p, q) に対応する点の三次

$$\begin{aligned} P = & A20 \alpha 2^3 + A21 \beta 2^3 + A22 \gamma 2^3 \\ & + A23 \alpha 2^2 \beta 2 + A24 \alpha 2 \beta 2^2 \\ & + A25 \beta 2^2 \gamma 2 + A26 \beta 2 \gamma 2^2 \\ & + A27 \gamma 2^2 \alpha 2 + A28 \gamma 2 \alpha 2^2 \\ & + A29 \alpha 2 \beta 2 \gamma 2 \quad \dots (19) \end{aligned}$$

【0060】ここで、係数ベクトルA20~29は、3つ (頂点=境界線の交差点PA, PB, PC) の頂点ベクトル、6つ (各頂点間線分=境界線の両端) の端点における線制御ベクトル (中間点制御ベクトル) Tab, Tba, Tbc, Tcb, Tca, Tac、及び、1つの面内制御ベクトル (内部制御ベクトル) Vsの計10個の制御変数から算出される。つまり、A20~A22=頂点PA~PCの実空間座標値、A23=3×(A20+Tab)、A24=3×(A21+Tba)、A25=3×(A21+Tbc)、A26=3×(A22+Tcb)、A27=3×(A22+Tca)、A28=3×(A20+Tca)、A29=2×(A20+A21+A22+Tab+Tba+Tbc+Tcb+Tca+Tac+3×Vs)である。なお、この計算式はモデル座標系上のものであり、ローカル座標系で計算するときは、頂点ベクトルA20~A22及び制御ベクトルTab, Tba, Tbc, Tcb, Tca, Tac; Vsをそれぞれローカル座標系に変換せねばならない。

【0061】上述の変換式 (19) は、三角面要素SEtの境界線上では線 (曲線) 要素PEの写像式 (11) に一致しなければならないが、実際、境界線Labについては、

$$\alpha 2 + \beta 2 = 1 \quad \text{および} \quad \gamma 2 = 0$$

が成立するので、これを式 (18) に代入すると、式 ※

$$\begin{aligned} P(x, y, z) = & (1/3) (A20 + A21 + A22) \\ & + (5/27) (Tab + Tba + Tbc + Tcb + Tca + Tac) \\ & + (2/9) Vs \quad \dots (20) \end{aligned}$$

となり、平面からのずれが境界線と内部制御点ベクトルVsにどのように影響されているかを推察することができる。ここで、例えば、境界線Labが直線であるとすれば、

$$Tab = (A21 - A20) / 3$$

$$\begin{aligned} P(x, y, z) = & (1/3) (A20 + A21 + A22) \\ & + (2/9) Vs \quad \dots (21) \end{aligned}$$

となるので、真の平面からのずれは2/9Vectとなる。つまり、内部制御点ベクトルVsがVs

*元空間での座標P (x, y, z) は、例えば、次に説明するような面積座標 ($\alpha 2, \beta 2, \gamma 2$) の総三次式により計算される。

【0059】図7に示すように、三角形面積パラメータ空間 ($\alpha 2, \beta 2, \gamma 2$) に対応して実空間 (x, y, z) に写像される面要素SE上の位置ベクトルPは、これら3つの面積座標パラメータ $\alpha 2, \beta 2, \gamma 2$ を利用して、例えば、総3次表現形式で記述される場合は、面要素SE上の点Pの3次元位置座標値として、次式 (1

※ (11) が導かれる。同様に、他の境界線Lbc, Lcaについてもサイクリックに変数を置換すると、同じ変換が成立していることが解る。つまり、この写像式 (18) は、三角面要素SEtの境界線Lab~Lcaを含む曲面を表現している。なお、式 (19) において面積座標パラメータ ($\alpha 2, \beta 2, \gamma 2$) を夫々 (1, 0, 0)、(0, 1, 0)、(0, 0, 1) とすれば、頂点ベクトルA20~A22で表わされる頂点PA, PB, PCを三角面が通過することは、容易に理解することができる。

【0062】図7において、頂点PA, PB間の境界線Lab上におけるパラメータ値 $\alpha 2 = 1/3, \beta 2 = 2/3, \gamma 2 = 0$ の中間点Pab、及び、 $\alpha 2 = 2/3, \beta 2 = 1/3, \gamma 2 = 0$ の中間点Pbaは、それぞれ、制御ベクトルTab, Tbaに対応する点であり、他の境界線Lbc, Lcaの中間点Pbc, Pcb; Pca, Pacについても、同様である。また、面内制御ベクトルVsは、図7に“×”印で示す $\alpha 2 = 1/3, \beta 2 = 1/3, \gamma 2 = 1/3$ の点Soを写像した面内制御点に対応し、三角面要素SEtの重心付近での膨らみ/凹みを制御するものである。

【0063】式 (19) において、($\alpha 2, \beta 2, \gamma 2$) = (1/3, 1/3, 1/3) とすると、

$$\star Tba = (A20 - A21) / 3$$

となり、

$$Tab + Tba = 0$$

となる。同様に、他の境界線Lbc, Lcaも直線であるとすれば、

= 0のときは、面は平面を表わし、この意味で内部制御点ベクトルVsは重心付近の膨らみと凹みを制御するも

のである。なお、内部制御点ベクトル V_s の基準値（デフォルト値）として $V_s = 0$ 用意しておくことができる。

【0064】〔B〕四角面（四角パッチ）要素 SE_q ：四角面要素 SE_q において、その形状を表現しているデータは、面の境界となる4つの線（曲線）、4つの内部制御点ベクトル、制御点オフセット（変形）である。これらの属性値から決定される係数ベクトルを用いて、面積座標 $(\alpha_2, \beta_2, \gamma_2, \delta_2)$ をパラメータとし *

$$S_{ab} = (1/2) \{1 - (\alpha_2 + \beta_2)\} \quad \dots (22)$$

$$S_{bc} = (1/2) \{1 - (\beta_2 + \gamma_2)\} \quad \dots (23)$$

$$S_{cd} = (1/2) \{1 - (\gamma_2 + \delta_2)\} \quad \dots (24)$$

$$S_{da} = (1/2) \{1 - (\delta_2 + \alpha_2)\} \quad \dots (25)$$

ポイント S について、このような面積座標パラメータ $\alpha_2, \beta_2, \gamma_2, \delta_2$ によって、実空間 (x, y, z) に写像される面要素 SE を定義し、立体図形の1曲面要素（曲面四角パッチ）として取り扱うことが可能であ *

$$1 - (\alpha_2 + \beta_2 + \gamma_2 + \delta_2) = 0 \quad \dots (26)$$

また、2つの四角形面積パラメータ（例えば、 α_2, β_2 ）の値が決まれば、残4つの三角形の頂点 $A \sim D$ の位置が決まることから、残りの四角形面積パラメータ（例えば、 γ_2, δ_2 ）の値は定まる。さらに、三角形の3つの面積座標 $(\alpha_2, \beta_2, \gamma_2)$ を4つの面積座標系 $(\alpha_2, \beta_2, \gamma_2, \delta_2)$ に線形変換することにより、同じ面要素を四角形面積座標系 $(\alpha_2, \beta_2, \gamma_2, \delta_2)$ で表現することができる。

【0067】三角面要素 SE_t の場合と同様に、四角形面積座標 $(\alpha_2, \beta_2, \gamma_2, \delta_2)$ は、面が本質的に二次元である故、実は2つの独立なパラメータ (p, q) でから計算できる筈なので、図9に示すように、これらの関係は、

$$\alpha_2 = 1 - p - q + \gamma_2$$

$$\beta_2 = p - \gamma_2$$

$$\gamma_2 = p \times q$$

$$\delta_2 = q - \gamma_2$$

で定義することができる。この定義によると、任意の *

$$\begin{aligned} P = & A_{40} \alpha_2^3 + A_{41} \beta_2^3 + A_{42} \gamma_2^3 + A_{43} \delta_2^3 \\ & + A_{44} \alpha_2^2 \beta_2 + A_{45} \alpha_2 \beta_2^2 \\ & + A_{46} \beta_2^2 \gamma_2 + A_{47} \beta_2 \gamma_2^2 \\ & + A_{48} \gamma_2^2 \delta_2 + A_{49} \gamma_2 \delta_2^2 \\ & + A_{50} \delta_2^2 \alpha_2 + A_{51} \delta_2 \alpha_2^2 \\ & + A_{52} \delta_2 \alpha_2 \beta_2 + A_{53} \alpha_2 \beta_2 \gamma_2 \\ & + A_{54} \beta_2 \gamma_2 \delta_2 + A_{55} \gamma_2 \delta_2 \alpha_2 \quad \dots (27) \end{aligned}$$

【0069】ここで、係数ベクトル $A_{50} \sim A_{55}$ は、4つ（頂点=境界線の交差点 PA, PB, PC, PD ）の頂点ベクトル、8つ（各頂点間線分=境界線の両端）の線制御ベクトル $T_{ab}, T_{ba}, T_{bc}, T_{cb}, T_{cd}, T_{dc}, T_{da}, T_{ad}$ 、及び、4つの面内制御ベクトル $V_{sa}, V_{sb}, V_{sc}, V_{sd}$ の計16個の制御変数から算出される。つまり、 $A_{40} \sim A_{43}$ =頂点 $PA \sim PD$ の実空間座標値、 A_{44}

*て、例えば、所与の総3次式で四角曲面の形状を表現する。

【0065】四角形 $(n=4)$ 面積座標パラメータを用いる場合には、例えば、図8に示すように、各辺の長さが「1」つまり面積が「1」の正四角形 $ABCD$ に対してポイント S を定め、各辺に対応する4つの三角形 $\triangle S_{ab}, S_{bc}, S_{cd}, S_{da}$ に区分し、各三角形の面積を次式(22)～(25)のように書き表わす：

※る。

【0066】なお、四角形面積座標パラメータ $\alpha_2, \beta_2, \gamma_2, \delta_2$ にも次式(26)に示す関係がある：

★ (p, q) に対して $\alpha_2 + \beta_2 + \gamma_2 + \delta_2 = 1$ の関係が成立することから、三角面要素 SE_t について述べたように、座標 $(\alpha_2, \beta_2, \gamma_2, \delta_2)$ は何らか4つの量の比を表していると考えられるが、実際、図8のように、単位長さの正方形 $ABCD$ を面上の2次元直行座標 (p, q) で分割したときの分割面それぞれの面積（又は面積比）に対応していることが解かる。また、四角形面積座標 $(\alpha_2, \beta_2, \gamma_2, \delta_2)$ から三次元空間座標 $P(x, y, z)$ への写像は、例えば、面積座標 $(\alpha_2, \beta_2, \gamma_2, \delta_2)$ について対称な総3次式を用いて行う。

【0068】図8に示すように、四角形面積座標パラメータに対応して実空間 (x, y, z) に写像される面要素 SE 上の位置ベクトル P は、前述した直線（曲線）や三角面要素 SE_t の式(11)、(19)と同様に、総3次形式で次式(27)のように表現することができ、面の複雑さにおいては、NURBS曲面の $n \times m = 4 \times 4$ 制御点で定義される面に対応する：

$$\begin{aligned} & = 3 \times (A_{40} + T_{ab}), A_{45} = 3 \times (A_{41} + T_{ba}), \\ & A_{46} = 3 \times (A_{41} + T_{bc}), A_{47} = 3 \times (A_{42} + T_{cb}), \\ & A_{48} = 3 \times (A_{42} + T_{cd}), A_{49} = 3 \times (A_{43} + T_{dc}), \\ & A_{50} = 3 \times (A_{43} + T_{da}), A_{51} = 3 \times (A_{40} + T_{ad}), \\ & A_{52} = 9 \times (A_{40} + T_{ab} + T_{ad} + V_{sa}), A_{53} \\ & = 9 \times (A_{41} + T_{bc} + T_{ba} + V_{sb}), A_{54} = 9 \times (A_{42} \\ & + T_{cd} + T_{cb} + V_{sc}), A_{55} = 9 \times (A_{43} + T_{da} + T_{dc} \end{aligned}$$

+Vsd)である。なお、この計算式もモデル座標系上のものであり、ローカル座標系で計算するときは、頂点ベクトルA20～A22及び制御ベクトルTab, Tba; Tbc, Tcb; Tcd, Tdc; Tda, Td; Vsa, Vsb, Vsc, Vsdをそれぞれローカル座標系に変換せねばならない。

【0070】この変換式(27)も各々の境界線については、連続性の点から線分の変換式(11)に一致しなければならないが、例えば、境界線Lab上では、 $\alpha^2 + \beta^2 = 1$ および $\gamma^2 = \delta^2 = 0$ が成立するので、これを式(27)に代入すると、実際、式(11)が導かれる。同様に、他の境界線Lbc～Ldaについてもサイクリックに変数を置換すると、同じ変換が成立していることが解る。つまり、この写像式は、四角面要素SEqの境界線Lab～Ldaを含む曲面を表現している。なお、式(27)において($\alpha^2, \beta^2, \gamma^2, \delta^2$)を(1, 0, 0, 0)、(0, 1, 0, 0)、(0, 0, 1, 0)、(0, 0, 0, 1)とすれば、それぞれ、頂点ベクトルA20～A23が得られることから、四角面が頂点PA～PDを通過することは容易に解る。

【0071】なお、線制御ベクトルTab, Tba, Tbc, Tcb, Tcd, Tdc, Tda, Tdについて三角面要素SEtで説明したものと同様である。面内制御ベクトルVsa, Vsb, Vsc, Vsdは、図8に“×”印で示す四角形面積座標パラメータ($\alpha^2, \beta^2, \gamma^2, \delta^2$)が、それぞれ、(4/9, 2/9, 1/9, 2/9)〔p=1/3, q=1/3〕、(2/9, 4/9, 2/9, 1/9)〔p=2/3, q=1/3〕、(1/9, 2/9, 4/9, 2/9)〔p=2/3, q=2/3〕、(2/9, 1/9, 2/9, 4/9)〔p=1/3, q=2/3〕の点を写像した面内制御点に対応し、主として、これらの制御点近傍の膨らみ/凹みを制御するものである。また、内部制御点ベクトルVsa, Vsb, Vsc, Vsdの基準値(デフォルト値)としてVsa=Vsb=Vsc=Vsd=0を用意しておくことができ、このデフォルト値を使用して定義される四角面要素SEqは、ツイストベクトルがゼロのクーンズパッチと同じ内容を表わしている。

$$P = P(\alpha^2, \beta^2, \gamma^2, \dots, \nu^2) \quad \dots (28)$$

$$1 - (\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2 + \dots + \nu^2) = 0 \quad \dots (29)$$

なお、式(29)は、次式(30)～(32)の関係から導出される：

$$\begin{aligned} 1 - (\alpha^2 + \beta^2) &= k^2 S_{ab} \\ 1 - (\beta^2 + \gamma^2) &= k^2 S_{bc} \\ 1 - (\gamma^2 + \delta^2) &= k^2 S_{cd} \\ &\dots \\ 1 - (\nu^2 + \alpha^2) &= k^2 S_{na} \end{aligned} \quad \dots (30)$$

$$S_{ab} + S_{bc} + S_{cd} + \dots + S_{na} = 1 \quad \dots (31)$$

$$k^2 = n - 2 \quad \dots (32)$$

ただし、Sab, Sbc, Scd, ..., Snaは、辺AN, BC, CD, ..., NAの上に立つ小三角形△SAB, △SBC, △SCD, ..., △SNAの面積であり、形状計数k2は、例えば、三角形ABC(n=3)の場合k2=1、四角形ABCD(n=4)の場合k2=2となるのである。

【0074】〔3〕立体要素VE

立体要素VEについては、同様に、一般に、体積値

$$P = P(\alpha^3, \beta^3, \gamma^3, \dots, \mu^3) \quad \dots (33)$$

$$1 - (\alpha^3 + \beta^3 + \gamma^3 + \dots + \mu^3) = 0 \quad \dots (34)$$

★「1」の正n面体についてポイントVを定め、ポイントVを頂点とし各多角形表面を底面とする各多角錐の体積値Va, Vb, Vc, ..., Vnから多面体(n面体)体積座標パラメータ値 $\alpha^3, \beta^3, \gamma^3, \dots, \mu^3$ が定まり、これにより立体要素VEを定義することができる。この場合、次式(33)、(34)が成立し、(n-1)の多面体体積座標パラメータ(例えば、 $\alpha^3, \beta^3, \gamma^3, \dots, \mu^3$)の値は定まる：

【0072】図10は、正方形の境界線Lab～Ldaを接線連続にして円形状の図形を作るときの線制御ベクトルTab, Tba, Tbc, Tcb, Tcd, Tdc, Tda, Tdの変化を示している。図10において、図6(2)の線要素LEの接線連続化で説明した場合と同じように、境界線Lab～Ldaの端点PA～PDにおける制御ベクトルTad, Tab; Tba, Tbc; Tcb, Tcd; Tdc, Tdaを、互いに接する境界線Lda, Lab; Lab, Lbc; Lbc, Lcd; Lcd, Ldaの間で方向を一致させ逆向きにすることにより、境界線Lab～Ldaを正方形(a)から、端点PA～PDで接線が連続した円形状(b)へと変形させている。

【0073】〔C〕n角面要素：面要素SWは、一般的に説明すると、図11に示すように、面積値「1」の正n角形ABC...Nを用いるn角形面積座標パラメータによりn角形の面要素SEを定義する場合、次式(28)、(29)が成立し、n個の面積座標パラメータの値は、2つの三角形の面積(例えば、Sab, Sna)の値が定まれば、他の全ての面座標パラメータの値は定まる：

★「1」の正n面体についてポイントVを定め、ポイントVを頂点とし各多角形表面を底面とする各多角錐の体積値Va, Vb, Vc, ..., Vnから多面体(n面体)体積座標パラメータ値 $\alpha^3, \beta^3, \gamma^3, \dots, \mu^3$ が定まり、これにより立体要素VEを定義することができる。この場合、次式(33)、(34)が成立し、(n-1)の多面体体積座標パラメータ(例えば、 $\alpha^3, \beta^3, \gamma^3, \dots, \mu^3$)の値は定まる：

なお、式(34)は、次式(35)～(37)の関係から導出される：

$$\begin{aligned} 1 - (\alpha_3 + \beta_3 + \gamma_3 + \dots) &= k_3 \cdot V_a \\ 1 - (\beta_3 + \gamma_3 + \dots + \dots) &= k_3 \cdot V_b \\ 1 - (\gamma_3 + \dots + \dots + \dots) &= k_3 \cdot V_c \\ &\dots\dots \\ 1 - (\dots + \dots + \mu_3 + \alpha_3) &= k_3 \cdot V_n \end{aligned} \quad \dots (35)$$

$$V_a + V_b + V_c + \dots + V_n = 1 \quad \dots (36)$$

$$k_3 = n - 3 \quad \dots (37)$$

【0075】ただし、 $V_a, V_b, V_c, \dots, V_n$ は、各多角形表面 $AB\dots, BC\dots, \dots$ の上に立つ角錐の体積であり、形状計数 k_3 は、例えば、正四面体($n=4$)の場合は $k_3=1$ となり、これに基づいて四面体要素 VE_q を定義することができ、また、図12(1)のような正六面体 $ABCDEFGH$ ($n=6$)の場合には $k_3=3$ となり、これに基づいて六面体要素 VE_h を定義することができる。また、この多面体(n 面体)体積座標パラメータに対応して実空間(x, y, z)に写像される立体要素 VE 内部の位置ベクトル $P(\alpha_3, \beta_3, \gamma_3, \dots, \nu_3)$ は、式(19)、(27)と同様に、例えば、総3次形式で表現することができる。また、四面

10※体要素 VE_q や六面体要素 VE_h などの境界線(稜線)は式(11)に一致し、境界面は式(19)、(27)に一致することが確かめられることができる。

【0076】例えば、六面体要素 VE_h については、8つの六面体体積座標パラメータ $\alpha_3, \beta_3, \gamma_3, \epsilon_3, \xi_3, \eta_3, \theta_3$ は、図12(2)のように、体積「1」の正六面体 $ABCDEFGH$ を内点 $V(p, q, r)$ で分割して(内点 V を通り p, q, r 軸に平行な面で区切って)得られる8つの小直方体(端点 $A\sim H$ とは、その対向に当たるものが順次対応する。例えば、パラメータ α_3 は、端点 A の対向に当たる斜線部の小直方体に対応する)の体積を意味しており、

$$\alpha_3 + \beta_3 + \gamma_3 + \delta_3 + \epsilon_3 + \xi_3 + \eta_3 + \theta_3 = 1 \quad \dots (38)$$

の関係がある。そして、正六面体 $ABCDEFGH$ の内★うな写像式が得られる：
部の点 $V(p, q, r)$ 対角について次式(39)のよ★【0077】

$$\begin{aligned} P = & A_{60} \alpha_3^3 + A_{61} \beta_3^3 + A_{62} \gamma_3^3 + A_{63} \delta_3^3 \\ & + A_{64} \epsilon_3^3 + A_{65} \xi_3^3 + A_{66} \eta_3^3 + A_{67} \theta_3^3 \\ & + A_{68} \alpha_3^2 \beta_3 + A_{69} \alpha_3 \beta_3^2 \\ & + A_{70} \beta_3^2 \gamma_3 + A_{71} \beta_3 \gamma_3^2 \\ & + A_{72} \gamma_3^2 \delta_3 + A_{73} \gamma_3 \delta_3^2 \\ & + A_{74} \delta_3^2 \alpha_3 + A_{75} \delta_3 \alpha_3^2 \\ & + A_{76} \alpha_3^2 \epsilon_3 + A_{77} \alpha_3 \epsilon_3^2 \\ & + A_{78} \epsilon_3^2 \xi_3 + A_{79} \epsilon_3 \xi_3^2 \\ & + A_{80} \beta_3^2 \xi_3 + A_{81} \beta_3 \xi_3^2 \\ & + A_{82} \xi_3^2 \eta_3 + A_{83} \xi_3 \eta_3^2 \\ & + A_{84} \gamma_3^2 \eta_3 + A_{85} \gamma_3 \eta_3^2 \\ & + A_{86} \eta_3^2 \theta_3 + A_{87} \eta_3 \theta_3^2 \\ & + A_{88} \delta_3^2 \theta_3 + A_{89} \delta_3 \theta_3^2 \\ & + A_{90} \theta_3^2 \delta_3 + A_{91} \theta_3 \delta_3^2 \\ & + A_{92} \delta_3 \alpha_3 \beta_3 + A_{93} \alpha_3 \beta_3 \gamma_3 \\ & + A_{94} \beta_3 \gamma_3 \delta_3 + A_{95} \gamma_3 \delta_3 \alpha_3 \\ & + A_{96} \theta_3 \epsilon_3 \xi_3 + A_{97} \epsilon_3 \xi_3 \eta_3 \\ & + A_{98} \xi_3 \eta_3 \theta_3 + A_{99} \xi_3 \eta_3 \epsilon_3 \\ & + A_{A0} \epsilon_3 \alpha_3 \beta_3 + A_{A1} \alpha_3 \beta_3 \xi_3 \\ & + A_{A2} \beta_3 \xi_3 \epsilon_3 + A_{A3} \xi_3 \epsilon_3 \alpha_3 \\ & + A_{A4} \xi_3 \beta_3 \gamma_3 + A_{A5} \beta_3 \gamma_3 \eta_3 \\ & + A_{A6} \gamma_3 \eta_3 \xi_3 + A_{A7} \eta_3 \xi_3 \alpha_3 \\ & + A_{A8} \eta_3 \gamma_3 \delta_3 + A_{A9} \gamma_3 \delta_3 \theta_3 \\ & + A_{B0} \delta_3 \theta_3 \eta_3 + A_{B1} \theta_3 \eta_3 \gamma_3 \\ & + A_{B2} \theta_3 \delta_3 \alpha_3 + A_{B3} \delta_3 \alpha_3 \epsilon_3 \end{aligned}$$

23

$$\begin{aligned}
 &+ AB4 \alpha 3 \varepsilon 3 \theta 3 \\
 &+ AB6 \beta 3 \varepsilon 3 \delta 3 \\
 &+ AB8 \beta 3 \eta 3 \delta 3 \\
 &+ AC0 \theta 3 \alpha 3 \xi 3 \\
 &+ AC2 \xi 3 \gamma 3 \theta 3
 \end{aligned}$$

24

$$\begin{aligned}
 &+ AB5 \varepsilon 3 \theta 3 \delta 3 \\
 &+ AB7 \alpha 3 \xi 3 \gamma 3 \\
 &+ AB9 \theta 3 \alpha 3 \gamma 3 \\
 &+ AC1 \eta 3 \beta 3 \varepsilon 3 \\
 &+ AC3 \eta 3 \varepsilon 3 \delta 3
 \end{aligned}$$

… (39)

【0078】ここで、係数ベクトルA60～AC3は、六面体を構成する8つの頂点及び6つの境界面及び境界面に関する各データ（各頂点ベクトル、各線制御ベクトル、各面制御ベクトルや内部制御ベクトル等、計64個の制御変数）から算出されるが、詳細は省略する。なお、仮に、 $r=0$ 即ち $\varepsilon 3=\xi 3=\eta 3=\theta 3=0$ としてみると、四面体要素SEqで述べた四角形面積座標ABCDそのものとなり、これを写像式(39)に当てはめると、四面体要素SEqの写像式(27)の表現に一致することができる。従って、写像式(39)は六面体の境界面をその表現に含んでいる。

【0079】実用上は、立体要素VE内部の点は必要とされる場合が少ないので、四面体要素VEq、五面体要素VEp及び六面体要素VEhを面要素SEで立体要素VEの表面を表現する手法が簡便であり、これで十分に有用し得る。従って、以下に説明する実用的な立体要素VEのデータ構造は、具体的には、四面体、五面体や六面体などの各立体要素毎に、図形形状データ〔頂点、境界線（曲線）、境界面〕の外、例えば、計量計算用分割数、制御点オフセット（変形）、表示／編集用のワークエリア（描画データ保持エリア、画面のちらつき防止用、頂点、境界線及び境界面I/OシーケンスNo.等を備える。ここで、面要素SEのn個の頂点もデータとして持つようにしているが、これらは、面要素SEの境界線の端点を表すデータである。これらの頂点データは、境界線の繋がり状態を考慮して境界線の端点を配置したものであり、各々どれか2本の境界線の端点且つ交差点となっている。

【0080】〔A〕四面体要素VEq：四面体要素VEqは、三角面が4つ張り合わさった立体として表現されるもので、形状を表現するためのデータは、単純に、これら4つの境界面のデータである。形状表現データには、境界面で構成される面の頂点と境界線のデータも持*40

$$P = A1 \alpha^3 + A2 \alpha^2 \beta + A3 \alpha \beta^2 + \dots$$

… (40)

【0084】このような総3次表現式は、面端の接線を連続的に接合する関係を維持しつつ面を制御することができる最低次数の表現形式であり、総3次表現式を用いると、演算数を必要以上に増大せずに、十分に実用的な3次元図形表現を得ることができる。しかしながら、更※

$$P = A1 \alpha^2 + A2 \alpha \beta + A3 \beta \gamma + \dots$$

… (41)

【0085】この発明の3次元CADシステムでは、こ

*っている。これらのデータは面の繋がり配慮して配置している。

【0081】〔B〕五面体要素VEp：五面体要素VEpは、上下2つの三角面と、これらの三角面に繋がる3つの四角面が張り合わさった立体として表現されるもので、形状を表現するためのデータとしては、合計5つのこれら境界面データを持っており、四面体要素VEqと同様、境界面で構成される面の頂点や境界線のデータも含まれる。

【0082】〔C〕六面体要素VEh：六面体要素VEhは、上下2つの四角面と、これらの四角面に繋がる4つの四角面が張り合わさった立体として表現されるもので、形状を表現するためのデータとしては、合計6つのこれら境界面データを持っており、他の立体要素VEq、VEpと同様、境界面で構成される面の頂点や境界線のデータも含まれる。

【0083】この発明の一実施例においては、以上説明した面積座標パラメータ($\alpha, \beta, \gamma, \dots$)に関する総n次（特に、総3次）形式による線（曲線）及び面（曲面）の表現を利用し、親図形に子図形を相対的に記述して親図形上に子図形を定義する。この発明の総3次形式を利用した一実施例においては、これらの座標パラメータ（以下、記号 α, β, \dots で統一的に表記する。）に対応して実空間(x, y, z)に写像される各要素の位置ベクトルPは、通常、式(11)、(19)、(27)と同様に、座標パラメータ α, β, \dots の3次結合“ $\alpha \alpha \alpha$ ”、“ $\alpha \alpha \beta$ ”、“ $\alpha \beta \beta$ ”、…の全てに夫々ベクトル係数A1、A2、A3、…を掛けた総和を示す座標パラメータ $\alpha, \beta, \gamma, \dots$ の総3次式で表現される。すなわち、線要素LE上及び面要素SE上の点Pの3次元座標値は、次式(40)のような総3次表現式で表現され、立体要素VE内部の点Pの3次元座標値についても、同式で表現することができる：

※に次数を増大した高次関数を利用して更に高い表現力をもたせることもできる。なお、接線連続条件を厳密に考えず表現力の自由度が低くてもよい場合は、次式(41)のように、総2次式で表現することもできる：

50 のように、直線座標パラメータ、面積座標パラメータ等

の座標パラメータを利用することによって、パラメータ平面内の任意の直線は、全て同じ表現形式の写像曲線に変換することができ、従来のCAD方式におけるベジェ3次及び6次曲線境界の共有というような制約から開放される。そして、これによって、多様な面同士の連続性に関する制御機能を持たせることが可能になる。

【0086】〔各要素図形のデータ構造〕従来のCADシステムにおいては、境界を接する面や線が二重に定義される場合が多かったが、立体、面、線等が連続的に定義されるためには、境界を接する面、線、点等が二重定義されるようなことは、回避されなければならない。このための一つの解決策として、この発明の一実施例においては、点要素PE、線要素LE、面要素SE及び立体要素VEを表現するデータ構造として図13に示すように、ポイントLP、SP、VPを用いて階層的な結合関係を持たせる形式のデータ構造を採用している。

【0087】図13において、点要素PEを表わす点リストPLは、設定されている当該点要素の3次元座標値(x, y, z)を表わす座標値データPCなどをもち、線要素LEを表わす線リストLLは、当該線要素LEの両端点を指示する端点ポイントLP、当該線要素LEの両端における接線ベクトルに対応した線制御ベクトルデータ(若しくは中間制御ポイントを相対座標で表わす中間制御点データ)LV(相対定義)などをもつ。また、面要素SEを表わす面リストSLは、境界線として当該面要素SEを構成する線要素を指示する周囲線ポイントSP、当該面要素の面内制御ベクトル(若しくは面内制御ポイントを相対座標で表示する面内制御点データ)SV(相対定義)などをもち、立体要素VEを表わす立体リストVLは、境界面として当該立体要素VEを構成する面要素を指示する外周面ポイントVPなどをもつ。そして、点リストPL、線リストLL及び面リストSLリストには、リファレンスカウンタRCが設けられ、このリファレンスカウンタRCには、いくつかの要素から参照されているかというリファレンス計数データ(参照親数)が記録されるようになっている。

【0088】このような結合関係を持ったデータ構造を採用すると、各要素VE、SE、LEを削除する場合に、削除しようとする要素が、他の要素の構成要因になっていないことを確認した上、関連する面要素SE、線要素LE、点要素PEのデータを削除することになる。この発明の一実施例では、点リストPL、線リストLL及び面リストSLリストにはリファレンスカウンタRCが設けられているので、このような場合、例えば、或る要素のリファレンス計数データが計数値“0”を示すと当該要素を削除するといふように、削除の可否を有効に判断することができる。

【0089】〔システムの概要〕図14は、この発明による3次元CADシステムのハードウェア構成例を示すブロック図である。この例では、システムは、CPU

(中央処理装置)1、記憶装置2、キーボードやマウス等の入力操作装置3、ディスプレイ等の表示装置4、プリンタ等の出力装置5を備え、これらの装置1~5は、バス6を介して互いに接続されている。システム全体を制御するCPU1は、所定のプログラムに従って種々の制御を行い、特に、この発明による3次元図形処理を中核的に遂行する。記憶装置2は、基本プログラム、各種図形処理プログラムや固定データ/パラメータを記憶したROM(読出専用メモリ)、各種データ等を一時記憶するRAM(ランダムアクセスメモリ)の外、ハードディスクドライブ(HDD)やCD-ROMドライブ/FD(フロッピーディスク)ドライブ等の外部記憶装置から成り、これらの外部記憶装置には、各種図形処理プログラムや各種図形データ/パラメータが記憶されている。

【0090】また、入力操作装置3は、ディスプレイ14に表示される各種画面を視認しつつ操作することにより、3次元図形処理を遂行することができる。この例では、バス6にインターフェイス7が接続され、例えば、プロッタ8を介して3次元図形を作図することができる。

【0091】〔図形生成の概要〕図15は、この発明による3次元CADシステムにおいて実行される立体図形の作成処理の一例を示す。この発明の一実施例では、例えば、図16~図20に示すように、面積座標パラメータを含む各種座標パラメータ α , β , γ , δ , ...を用いて面要素SE等の基本図形要素を設定し、設定された複数の基本図形要素を連続的に繋ぎ合わせて基本図形(基本トポロジー図形)BTを生成し、生成された基本図形BTを微分可能に変形して所望の立体図形(同一トポロジー図形)HTを生成する。これにより、この基本図形要素のサイズは、図3に示すような従来のCAD方式における平面三角パッチPTに比べて十分大きくし、また、基本図形要素間の境界部を連続的に繋ぎ合わせる事が可能になる。

【0092】より詳しくいえば、この発明の3次元CADシステムでは、図16~図20に示すように、基本的には、上述した曲面三角パッチや曲面四角パッチなどの面要素SEを繋ぎ合せて基本トポロジー図形BTを定義する。なお、既に述べたように、基本図形要素には、三角面要素SEtや四角面要素SEq等の面要素SEの外、点要素PE、線要素LE、四面体、五面体、六面体等の立体要素VEを用いることができる。このシステムは、このような基本トポロジー図形BTを基にして演算処理を行い所望の3次元図形を得ようとするものである。

【0093】〔図形処理の例〕以下、図15に示す立体図形生成処理例に基づき、図16~図20に沿って、簡単な図形処理の一例を説明しよう。図15の処理フロー例では、先ず、ルーチンR1において、基本データとし

て、点要素PE、線要素LE、面要素SE、立体要素VE等の基本図形要素についてのデータを入力する。ここで、面要素SEには三角面要素SEtや四角面要素SEqがあり、立体要素VEには四面体、五面体（三角柱状）、六面体がある。

【0094】（1）基本図形要素の入力

まず、ディスプレイ4上に基本作図画面を呼び出し入力操作装置3を操作して基本図形要素を入力する。例えば、基本作図画面において基本作図メニューボックス

（図示しないが、図4上部に例示した要素名が選択可能に並べられている。）に表示された基本図形要素の項目から「六面体」を指定すると、直角六面体の場合は、2つの対角点P1、P2をキーボードの数値入力或いはマウスカーソル操作により指示する（任意の直線六面体の場合は、対角点P1、P2を含む8つの頂点を指示する）と、図16（a）のような六面体図形が表示され、また、点要素PEとして2点P1、P2及び自動計算された残りの6頂点が、線要素LEとして12本の線が、面要素SEとして6つの四角面（SEq）が、そして、立体要素VEとして六面体（VEh）が、図13のよう

な形式で、それぞれ、システムに自動入力される。
【0095】なお、上述した方法では当初から六面体（VEh）を指示して作画したが、別の手順を用いることもできる。例えば、基本作図メニューボックスから「点」を指定して先ず8頂点を作成し、次に、この8頂点の中から順次4頂点ずつ組指定して6つの四角面（SEq）を作り、これら6つの四角面（SEq）を選択指定して立体化する。或いは、メニューボックスから「四角面」を指定して先ず上下の面となる2つの四角面（SEq）を作成し、次に、上下2つの四角面（SEq）の間に4つの四角面（SEq）を作成〔上下各面の頂点から面を生成〕し、これらの6つの四角面（SEq）を選択指定して立体化する。

【0096】続いて、同様の処理により別の六面体（VEh）を入力すると、図16（b）のように2つの六面体」が生成される。このように、六面体を構成するための頂点を先ず定義することが、本質的であり、基本図形作成の一つの基本となる。

【0097】（2）基本図形の設定及び生成

ルーチンR2においては、基本図形要素の合成／結合や分割により、基本図形BTの設定及び生成を行う。例えば、図16（b）の上部の六面体（VEh）は、上面と4つの側面から成る（底面を除く）5つの四面体（SEq）の組Aに分割し〔底面を除去し底面の4つの境界（周囲）線の共有を解く〕、下部の六面体（VEh）は、底面と4つの側面から成る（上面を除く）5つの四面体（SEq）の組Bに分割する〔上面を除去し4つの境界（周囲）線の共有を解く〕ことにより、2つの六面体（VEh）を、底面又は上面を有しない四面体組A、Bに分割することができる。或いは、基本作図メニュー

ボックスから「点」又は「四角面」を指定する前述の手法を用いて、5つの四面体（SEq）を2組作成し各組の四面体（SEq）を合成／結合する〔各組の四面体（SEq）に境界（周囲）線を共有させる〕ことによって、底面又は上面がない四面体組A、Bを基本作図の当初段階で作成することができる。

【0098】次に、このようにして得られた上部四面体組Aの下側4頂点と下部四面体組Bの上側4頂点を結ぶ4つの「線」を新たに定義し、さらに、これらの「線」並びに両四面体組A、Bの下辺及び上辺を形成する各4境界（周囲）線を用いて、両四面体組A、B間に、図17（c）のように、4つの四面体（SEq）Cを定義する。これにより、夫々5つの四角面より成る2つの四面体組A、B間を4つの四角面（SEq）Cで繋いだ内空の基本図形BTを設定することができる。なお、図16（a）、（b）に示されるような何ら分割／合成しない基本図形要素そのものも、もちろん、基本図形BTとして取り扱うことができる。

【0099】（3）基本図形の変形

ルーチンR3では、基本図形BTにおける基本図形要素の種々の制御ベクトルを調整することにより、基本図形BTの変形が行われる。基本作図画面の変形メニューボックスで「線分の拡大／縮小」を指定し所望の頂点及び移動先（量）を指示すると、図17（c）の基本図形BTの対応する頂点ベクトルが制御され、例えば、下部四面体組Bの水平な境界（周囲）線を拡大させる処理により、図17（d）のような内空の変形図形HTを生成することができる。また、図17（d）の変形図形HTに対して、上部四面体組Aの垂直な境界（周囲）線を均等に拡大し、下部四面体組Bの垂直な境界（周囲）線を不均等に拡大する処理により、図18（e）のような内空の変形図形HTを生成することができる。

【0100】図18（e）のような変形図形HTに対して、さらに、例えば、角筒状の上部及び下部の四面体組A、Bに丸みを付けて、円筒、或いは、丸みのある角部を有する角筒に変形することができる。このためには、基本作図画面の変形メニューボックスで「連続化」を指定し、上部四面体組Aについては、12本の境界線から、4本の垂直な境界線を除く8本の上下部の境界線を選択すると、各境界線について、互いの接続点における互いの線制御ベクトル（接線ベクトル）LVを、方向が逆で大きさが同一とする接線連続化処理が実行されて、図19（f）の上部に示すように、各境界線が滑らかに接続され、上部四面体組Aが円筒状に変形される。

【0101】これと同様の接線連続化処理を下部四面体組Bについても適用し、互いに同一にされる線制御ベクトル（接線ベクトル）LVの大きさを、上部四面体組Aの処理の場合よりも、大きくすると、図19（f）の下部に示すように、滑らかに境界線が接続され、下部四面体組Bは、角部に丸みが付けられた角筒に変形される。

このようにして同図に示されるような変形図形HTが得られる。つまり、図18(e)の両四面体組A、Bの上部及び下部の境界線の接続部に、線制御ベクトルLVの方向及び大きさ(曲率)を合わせる連続化処理を、上下部では異なる曲率で施すと、図19(f)のように、両四面体組A、Bの4つの四角面(SEq)を滑らかに繋ぎ合わせ、処理径に応じて、上部四面体組Aを円筒化し、下部四面体組Bの側面角部にフィレット処理と同様の丸み付けを行うことができる。

【0102】さらに、上下各四面体組A、Bの縦方向の境界線と、中間の四面体組Cの境界線との接続部において、互いの境界線の線制御ベクトルLVを逆方向とし異なる大きさ(曲率)とする接線連続化処理を行うと、図20(g)のような変形図形HTが得られる。つまり、図19(f)において、上部四面体組(円筒部)A-中間四面体組(繋ぎ部)C-下部四面体組(丸み付き角筒部)B間で、縦方向に接続する部分に、線制御ベクトルLVの方向を合わせる連続化処理を各接続部では異なる曲率で施すと、図20(g)のように、これらの四面体組A、B、Cが滑らかに繋ぎ合わされた変形図形HTが

得られる。

【0103】この発明では、面と面との間の接続部分の微分値は、他の変形処理があっても保存される。つまり、この発明によると、各接線連続処理により得られた面間の滑らかな繋ぎ合わせは変形後も保存されるので、連続性を保ちつつ図形を種々に変形することができる。

【0104】(4)シェーディング(色塗り、影付け)ルーチンR4においては、これまでのルーチンR1~R3で得られ基本図形BTや変形図形HTの表面に対して、光源及び視点の位置及び方向を設定し、周知のシェーディング(色塗り、影付け)処理を行う。図21は、図20(g)に類似した変形図形に対してシェーディング処理を施した場合の実際の画面表示例を示す。

【0105】以上説明したように、この発明の一実施例による3次元CADシステムでは、以下の(1)~(9)のような特徴を有する。

(1) 図16~図20に示すように、面要素PEで定義された基本トポロジー図形BTを変形して新たな連続空間図形(同一トポロジー図形)HTを次々と生成していくことができる。従って、面が連続的に定義され、CAMの加工面やCAEのメッシュデータがCADデータと共有することが可能となる。つまり、基本的に、ベクトル係数(A1~A10等)を決定して設定した位置ベクトル関数Pにより表わされる多数の曲面SEによって基本トポロジー図形BTを作成し、さらに、作成された基本トポロジー図形を変形し更にこれを変形して同一トポロジーを有する同一トポロジー図形HTを順次生成することができる。この場合、基本トポロジー図形BTや変形トポロジー図形HT上で連続した面は、これを変形した後の同一トポロジー図形HTにおいても連続してお

り、面の接線連続を保つ機能や、面の曲率の連続性を制御する機能を持っている。

【0106】この発明の3次元CADシステムでは、また、離散化近似を行わず、面要素SEや立体要素VEを連続して定義することから、形状データベースをCAD、CAM、CAEで一貫して共有することが可能となるので、CADシステムで表現される曲面を用いて、直接、工作機械を制御することができ、「CAD to Direct Machine Control」と呼び得る次世代の工作機械技術に寄与する。

【0107】(2)基本要素である三角面要素SEtや四角面要素SEq等の面要素SE自体が曲面を表現しているので、曲面表現のためのデータ量が非常に少ない。例えば、この発明による3次元CADシステムにおける1つの曲面四角パッチにより、従来CAD方式のポリゴン近似における平面三角パッチの数十~数百個分に相当する曲面を表現することができる。また、このシステムで表現される円筒は、厳密な円ではなく、例えば、H7程度の誤差をもって表現されるが、この誤差は、円筒面の分割数を増やすことにより、減少することができる。

【0108】この発明の3次元CADシステムにおける曲面処理の体系は、形状を記述するデータ量が極めて少なくするという利点をもっており、例えば、同規模図形に対して、従来のCAD方式の1/100のデータ量となる。これにより、このシステムによる曲面処理は、平面近似処理ではCPUの能力が発展した最近のパーソナルコンピュータでも実現できないような複雑な立体図形についても、パーソナルコンピュータを用いて実行することができる。また、例えば、データ量の制約の大きなインターネットを介したデータの授受にも大いに有利となり、例えば、従来のCAD方式では不可能であったCALS(Computer-aided Acquisition and Logistics Support)対応の図面転送を行うことができる。

【0109】(3)最初に図形を近似表現するが、その後の演算処理では一切近似計算をしないことを原則とする。このように、原則として、最初に図形を近似表現した後は近似計算を行わないことは、図形定義上の制約になることがあるが、2次元製図のコンパスと定規のような制約に過ぎず、この制約以上に、演算処理の負荷を大幅に軽減するという効果が得られる。

【0110】(4)面の分割手法として、面の上に接線連続面を相対的に定義することが可能であり、相対的に定義された面を、親面の変形に応じて相対的に変形することができる。つまり、面の上に局所的な面を張り付けて複雑な局部形状を表現するので、張り付けた面は親面の上を滑らせて移動することが可能であり、親面を変形させると、それに応じて、相対的に定義された子面も変形することができる。このように、局所的な細部形状に依存して面の分割が全域に及ばないことから、面を定義するデータ量が大幅に低減される。

【0111】(5) 図形のあらゆる部分を掴んで変形することが可能である。

(6) 円形面の表現にトリム処理を必要としない。

(7) 連続面の一部に徐々に曲率が変化するフィレット面を定義することができる。つまり、フィレットは、面の一部に自動的に作成され、複雑なフィレット形状を一つの面データ表現することができる。

(8) 面の連続性は、曲率の連続性に関して制御する機能を有し、高度な意匠設計に対応することができる。

(9) 曲面処理に近似計算を行わず、レンダリングも独自の曲面レンダリングを採用することができる。レンダリング技術に関して新技術の世界を切り開く可能性がある。例えば、表示されるピクセル点の全てについて法線ベクトルを計算することにより、「リアルシェード」と呼ぶ完璧な色染め(シェーディング)を行うことができる。等々。

【0112】演算処理には、一般的に、線形代数論が多

用されているが、コンピュータは、本来、線形代数論(マトリクス演算: 陰解法)が不得意であり、この発明の3次元CADシステムの曲面処理のように、出来る限り陽解法で演算処理を行うのが有利である。なお、どうしても陰解法が必要なときには、単純な収束計算で解を求めることができる。この発明のシステムは、このように、コンピュータ処理を前提として、線形代数論から非線形計算力学へという新たな技術の流れに従って、線形図形処理から非線形図形処理への変革を実現するものである。

【0113】また、一般的な工学上の解析計算に於いても、従来の線形代数論を応用した処理ロジックよりも、非線形問題を直接時系列現象として模擬する非線形計算力学に有利な技術環境を作り出している。この発明による曲面処理や非線形処理ロジックは、論理性よりも感性に馴染む性格を持っており、ヒューマン・インターフェースという問題で有利な点が多い。

【0114】

【発明の効果】以上説明したように、この発明によれば、直線座標、面積座標又は体積座標パラメータでそれぞれ定義される線要素、面要素又は立体要素を基本図形要素として設定し、これらの基本図形要素を相互に接続して、複数の座標パラメータで連続的に定義される基本図形を設定し、設定された基本図形を変形して所望の立体図形を生成する。これにより、面要素は、従来のCAD方式における面処理方式に対比して、広い領域を一つのバッチで表現することが可能になる。また、バッチが連続的に繋がった空間図形、即ち、連続微分可能な空間図形が定義され、しかも、このバッチで全ての面を近似表現するようにしているので、面の取扱いに一貫性をもたせることができる。従って、図形を記述するためのデータ量を大幅に低減し、コンピュータの演算処理の負荷を減少させることができる。

【0115】さらに、この発明によれば、生成される立体図形は、座標パラメータの総3次形式で表現される空間座標をもつ点群で定義されるので、演算数を必要以上に増大せずに、面端の接線を連続的に接合する関係を維持しつつ面を制御し、十分に実用的な3次元図形表現を得ることができる。

【0116】さらに、この発明によれば、点要素は3次元座標データをもち、線要素は端点ポイント及び中間制御点データをもち、面要素は外周線ポイント及び面内制御点データをもち、立体要素は、外周面ポイントを表わすデータをもち、点要素、線要素及び面要素は、リファレンス計数データをもたせている。従って、或る要素を削除しようとする場合、リファレンス計数データを参照して当該要素が他の要素の構成要因になっているか否かを確認し、削除の可否を有効に判別することができる。

【0117】そして、これらの特徴的な効果に付随して、さらに、次のような特筆すべき技術上の諸効果を生み出す:

(1) 従来のCAD方式に比べて、データ量を大幅に低減し、例えば、1/100程度に激減することができ、例えば、インターネットを利用したデータ転送が可能になる。

(2) コンピュータの演算処理の負荷を減少させ、総合的システムコストを低減させることができ、例えば、低位のパーソナルコンピュータで十分実用化することができる。

(3) 面の取扱いに一貫性をもたせることができ、意匠設計からCAM、CAEに共通のデータを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、従来の3次元CAD方式により作成される図形の特徴を表わす図である。

【図2】図2は、従来の3次元CAD方式におけるパラメータ平面及び写像曲面を表わす図である。

【図3】図3は、従来の3次元CAD方式における多面体(ポリゴン)近似を表わす図である。

【図4】図4は、この発明の一実施例による3次元CADシステムにおける形状モデルデータクラス構造を表わす図である。

【図5】図5は、この発明の一実施例による3次元CADシステムにおける点要素を説明するための図である。

【図6】図6は、この発明の一実施例による3次元CADシステムにおける線(曲線)要素及び直線座標パラメータを説明するための図である。

【図7】図7は、この発明の一実施例による3次元CADシステムにおける三角形面積座標パラメータ平面及び写像曲面を表わす図である。

【図8】図8は、この発明の一実施例による3次元CADシステムにおける四角形面積座標パラメータ平面及び写像曲面を表わす図である。

【図9】図9は、この発明の一実施例による3次元CADシステムにおける四角形面積座標パラメータの意味を説明するための図である。

【図10】図10は、この発明の一実施例による3次元CADシステムにおける四角面要素の境界線の接線連続化の一例を表わす図である。

【図11】図11は、この発明の一実施例による3次元CADシステムにおける多角形面積座標パラメータを一般的に説明するための図である。

【図12】図12は、この発明の一実施例による3次元CADシステムにおける多面体体積座標パラメータを説明するための図である。

【図13】図13は、この発明の一実施例による3次元CADシステムにおける各基本図形要素のデータ構造を表わす図である。

【図14】図14は、この発明の一実施例による3次元CADシステムのハードウェア構成例を表わすブロック図である。

【図15】図15は、この発明の一実施例による3次元CADシステムにおいて実行される立体図形の作成処理の一例を示す図である。

【図16】図16は、この発明の一実施例による3次元CADシステムでの立体図形生成処理過程の具体的図形を例示的に表わす図の第1部分である。

【図17】図17は、この発明の一実施例による3次元CADシステムの立体図形生成処理過程での具体的図形*

*例を表わす図の第2部分である。

【図18】図18は、この発明の一実施例による3次元CADシステムの立体図形生成処理過程での具体的図形例を表わす図の第3部分である。

【図19】図19は、この発明の一実施例による3次元CADシステムの立体図形生成処理過程での具体的図形例を表わす図の第4部分である。

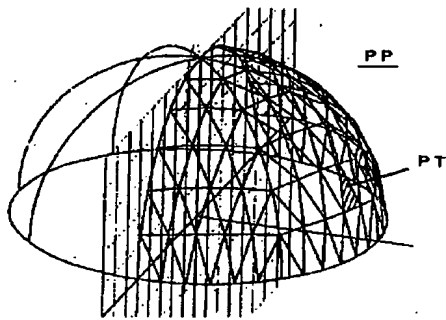
【図20】図20は、この発明の一実施例による3次元CADシステムの立体図形生成処理過程での具体的図形例を表わす図の第5部分である。

【図21】図21は、この発明の一実施例による3次元CADシステムの立体図形生成処理により得られた実際の画面表示例である。

【符号の説明】

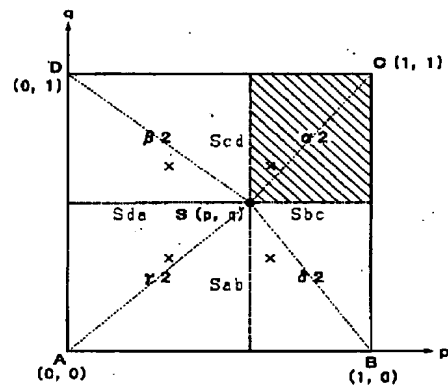
$\alpha 1, \beta 1$ 直線座標パラメータ、
 $\alpha 2, \beta 2, \gamma 2, \delta 2$ 面積座標パラメータ、
 $\alpha 3, \beta 3, \gamma 3, \dots$ 体積座標パラメータ、
 PE, LE, SE, VE 点要素、線要素、面要素及び体積（基本図形要素）、
 PA, PB, PC, PD 頂点ベクトル、
 PL, LL, SL, VL 点リスト、線リスト、面リスト及び立体リスト、
 RC リファレンスカウンタ、
 BT 基本図形（基本トポロジー図形）、
 HT 変形後の種々の立体図形（同一トポロジー図形）。

【図3】



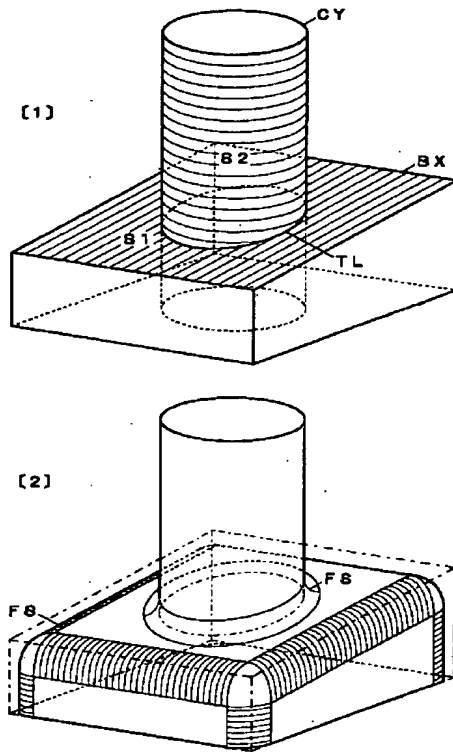
従来方式のポリゴン近似

【図9】



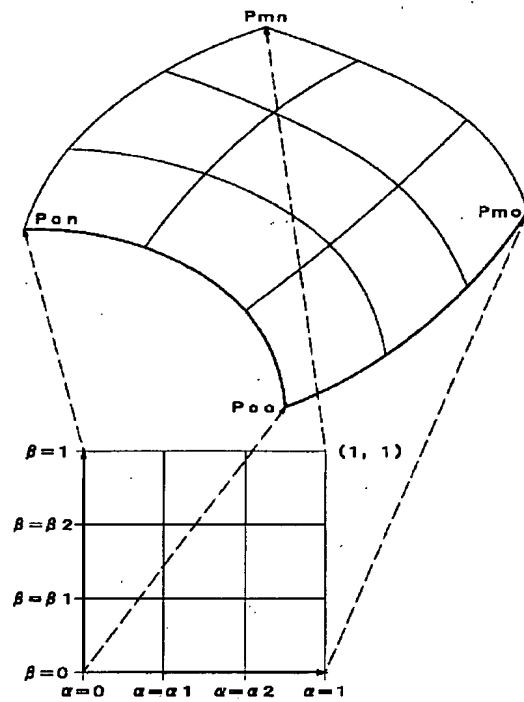
四角形面積座標の意味

【図1】



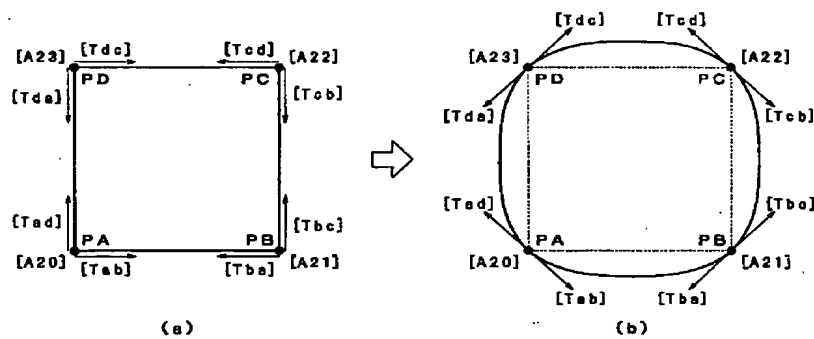
従来方式による図形

【図2】



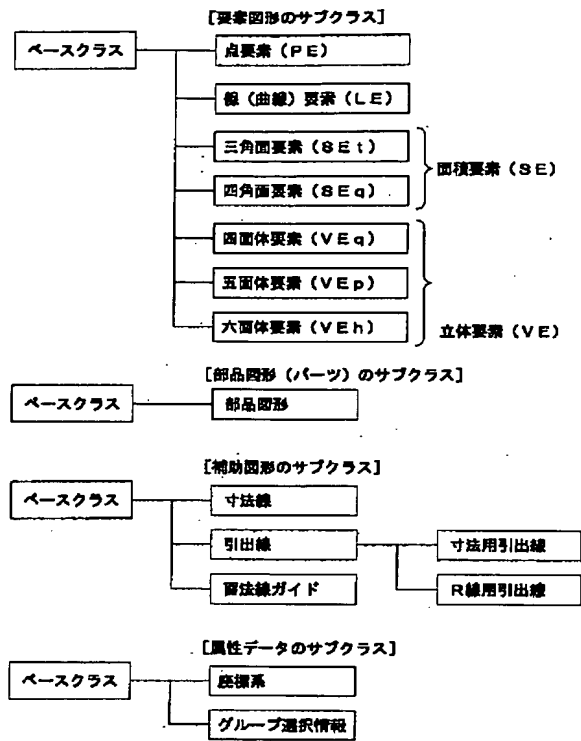
従来方式のパラメータ及び写像空間

【図10】



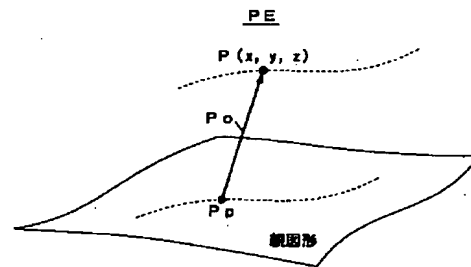
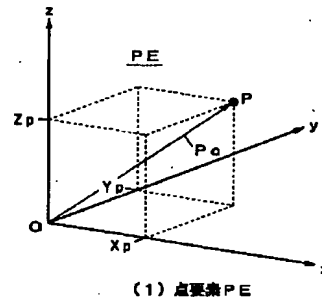
四角面要素の境界線の接続連続化の例

【図4】



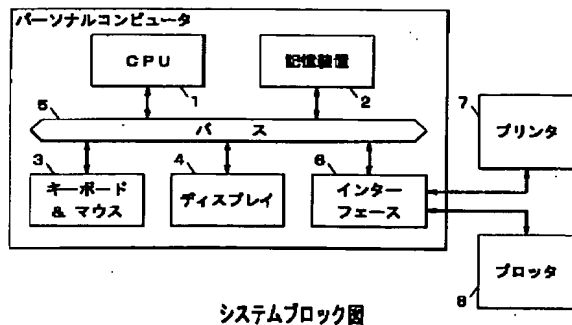
形状モデルデータのクラス構造

【図5】

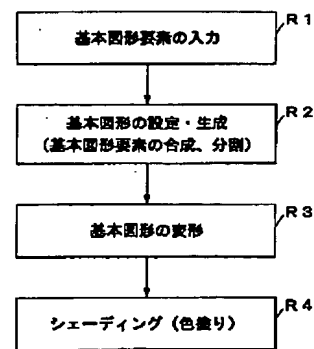


点要素

【図14】

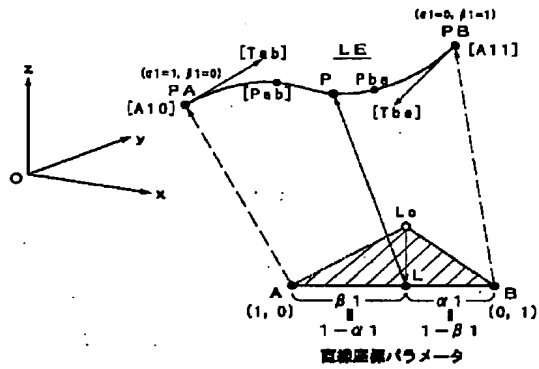


【図15】

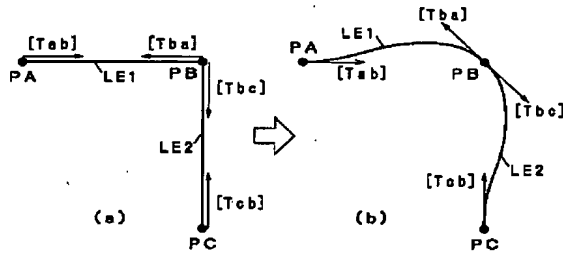


立体作図の処理例

【図6】



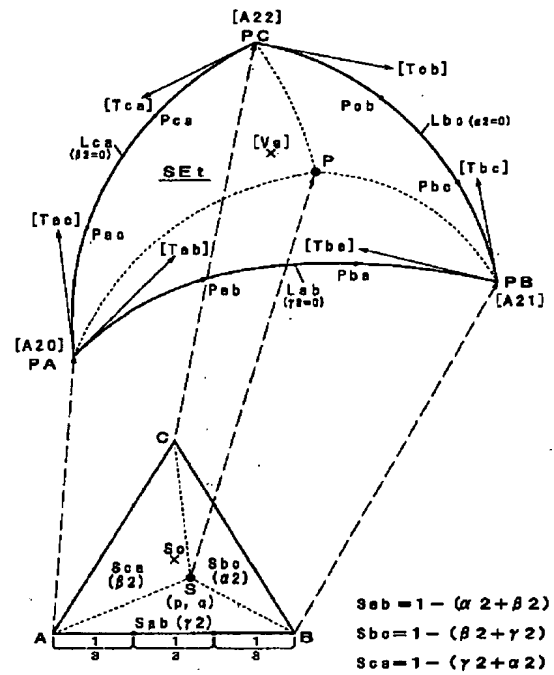
(1) 線要素LE



(2) 線要素間の接線連続化の例

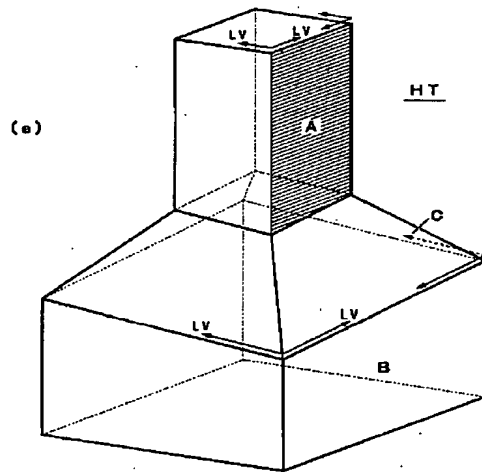
線（曲線）要素

【図7】



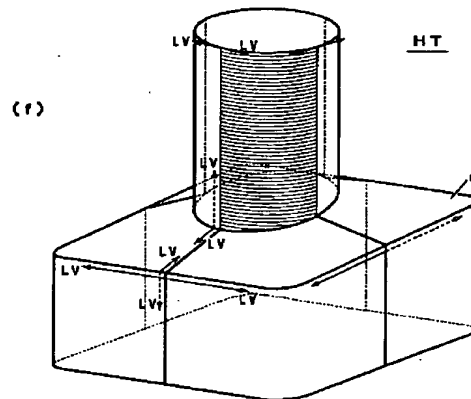
三角形面積座標パラメータ及び写像空間

【図18】



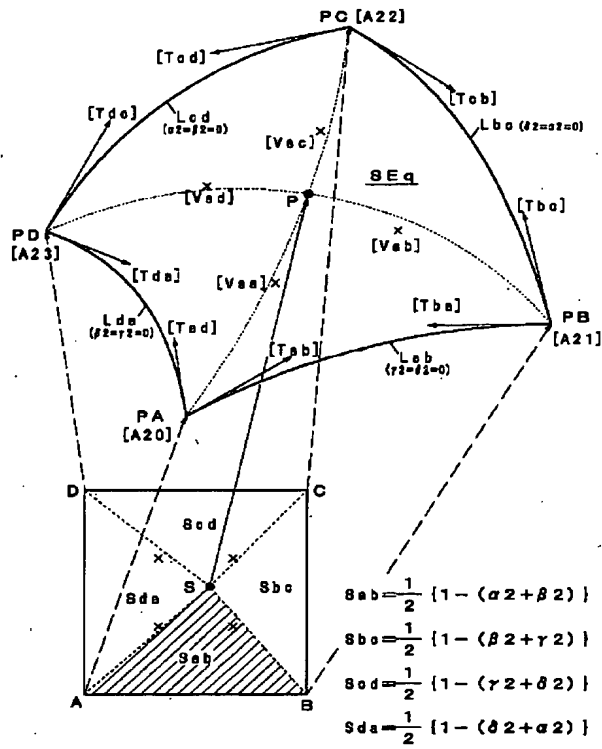
トポロジーによる図形生成 (3)

【図19】



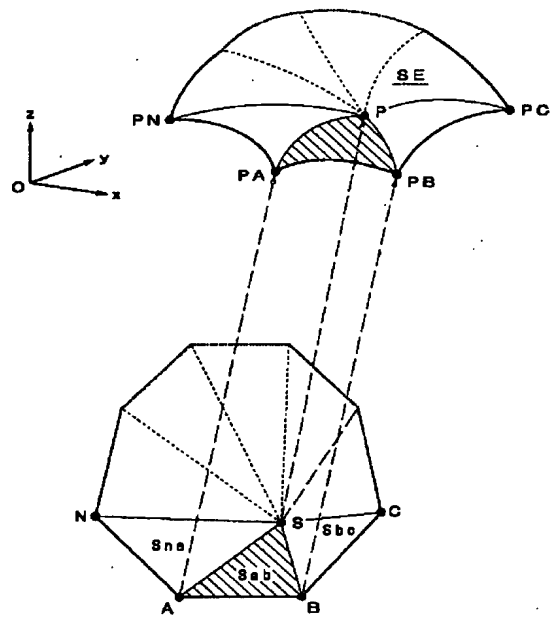
トポロジーによる図形生成 (4)

【図8】



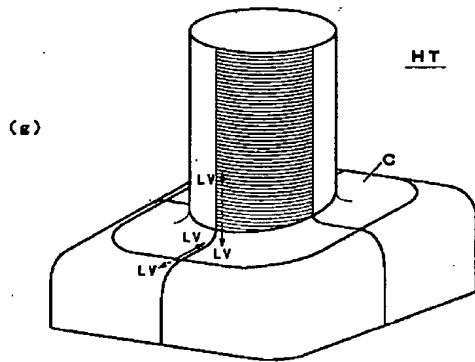
四角形面積座標パラメータ及び写像空間

【図11】



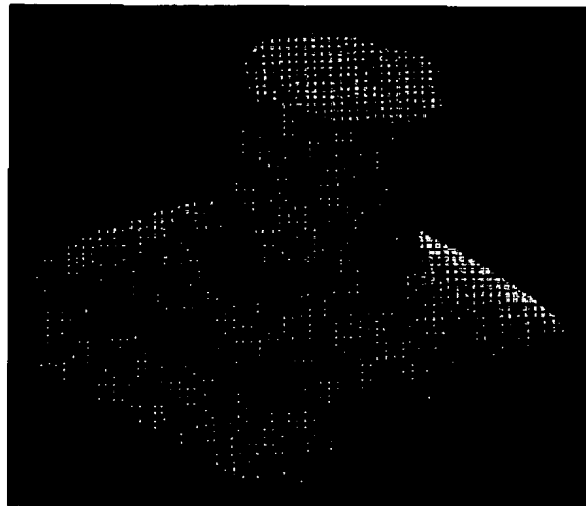
多角形面積座標パラメータの概念

【図20】

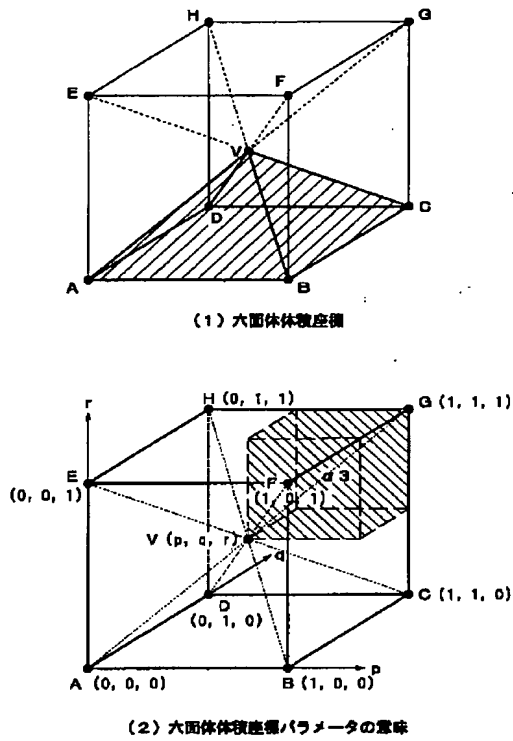


トポロジーによる図形生成 [5]

【図21】

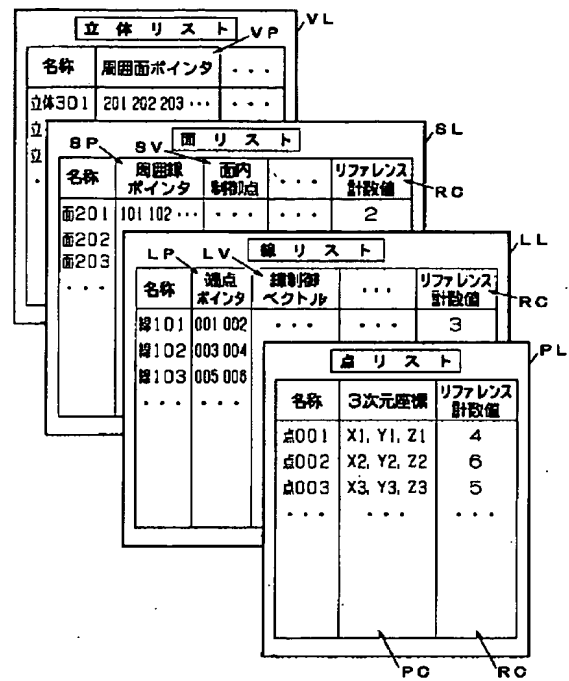


【図12】



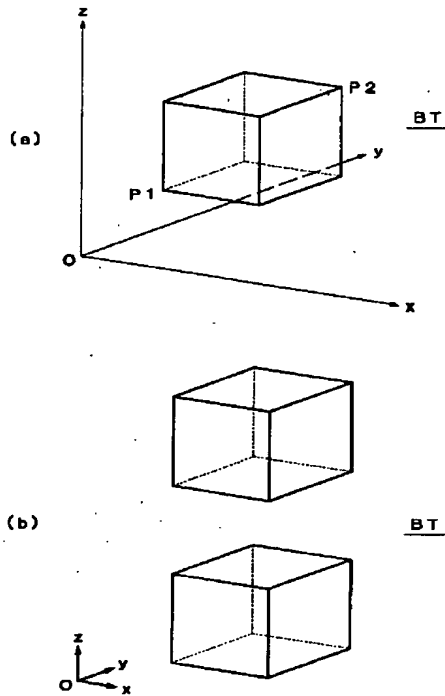
体積座標パラメータの例

【図13】



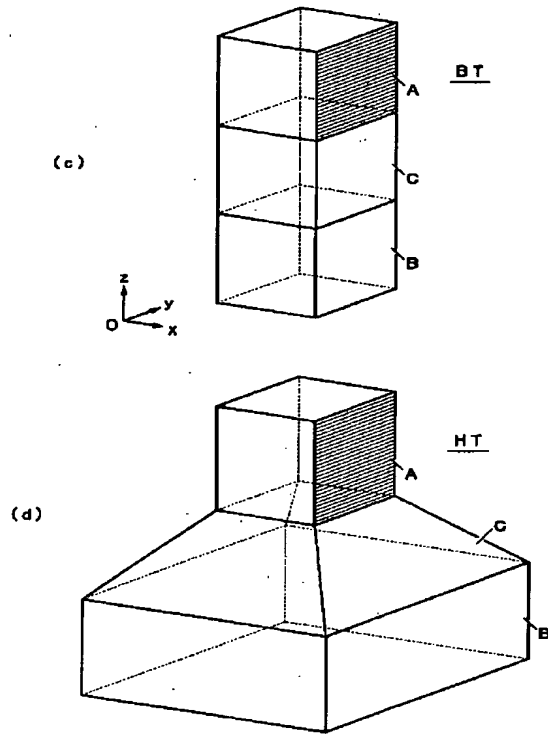
点、線、面及び立体要素のデータ構造

【図16】



トポロジーによる図形生成 [1]

【図17】



トポロジーによる図形生成 [2]

【手続補正書】

【提出日】平成13年4月17日(2001. 4. 17)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0043

【補正方法】変更

【補正内容】

*

$$P = A_{10} \alpha_1^3 + A_{11} \beta_1^3 + A_{12} \alpha_1^2 \beta_1 + A_{13} \alpha_1 \beta_2^2 \quad \dots (11)$$

ここで、係数ベクトル $A_{10} \sim A_{13}$ は、2つ(端点 PA , PB)の端点ベクトル及び2つ(端点 PA , PB)における(線)制御ベクトル(中間制御点ベクトル) T_{ab} , T_{ba} の計4個の制御変数から算出される。係数ベクトル A_{10} , A_{11} は、 A_{10} =端点 PA の実空間座標値、 A_{11} =端点 PB の実空間座標値とし、 A_{12} , A_{13} については、例えば、 $A_{12} = 3 \times (A_{10} + T_{ab})$ 、 $A_{13} = 3 \times (A_{11} + T_{ba})$ とするのがよい。

【手続補正2】

*【0043】面積パラメータ空間(α_1 , β_1)に対応して実空間(x , y , z)に写像される線要素 LE 上の位置ベクトル P は、これら2つの面積座標パラメータ α_1 , β_1 を利用して、面要素 SE 上の点 P の3次元相対位置座標値で表わされ、総3次表現形式にて記述される場合は、次式(11)で表わされる:

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0044

【補正方法】変更

【補正内容】

【0044】このように係数ベクトル $A_{10} \sim A_{13}$ を設定した場合、図6(1)において、線要素 PE 上におけるパラメータ値 $\alpha_1 = 2/3$, $\beta_1 = 1/3$ の点 P_{ab} 、及び、 $\alpha_1 = 1/3$, $\beta_2 = 2/3$ の点 P_{ba} は、それぞれ、制御ベクトル T_{ab} , T_{ba} に対応する。制御ベクトル

ル T_{ab} 、 T_{ba} は、この設定例の場合、端点 PA 、 PB での線要素 LE の接線ベクトル $T_{\beta a}$ 、 $T_{\alpha b}$ の $1/3$ 倍とされる。ここで、接線ベクトル $T_{\beta a}$ は、 $\alpha 1 = 1$ 、 $\beta 1 = 0$ のときの $dP/d\beta 1$ であり、接線ベクトル $T_{\alpha b}$ は、 $\alpha 1 = 0$ 、 $\beta 1 = 1$ のときの $dP/d\alpha 1$ である。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0045

【補正方法】変更

【補正内容】

【0045】なお、真に直線の場合は、

$$T_{ab} = (A_{11} - A_{10}) / 3$$

$$T_{ba} = (A_{10} - A_{11}) / 3$$

であるので、

$$A_{12} = 2.0 \times A_{10} + A_{11}$$

$$A_{13} = A_{10} + 2.0 \times A_{11}$$

となり、これを上記した写像式(11)に直接当てはめると、

$$P(x, y, z) = A_{10} \alpha 1 + A_{11} (1 - \alpha 1)$$

$$T_{\beta} = -3 \times \alpha^2 A_{10}$$

$$+ 3 \times (\alpha^2 - 2 \times \alpha 1 \beta 1) (A_{10} + T_{ab})$$

$$- 3 \times (\beta^2 - 2 \times \beta 1 \alpha 1) (A_{11} + T_{ba})$$

$$+ 3 \times \beta^2 A_{11}$$

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0047

【補正方法】変更

【補正内容】

【0047】端点 PA での線要素 LE の接線ベクトル $T_{\beta a}$ は、上式(12)で、 $(\alpha 1, \beta 1) = (1, 0)$ とすることにより、

$$T_{\beta a} = 3 \times T_{ab}$$

が導かれる。また、端点 PB での線要素 LE の接線ベクトル $T_{\alpha b}$ については、同様にして、点 PB から点 PA に向かう線要素 LE 上の接線ベクトル $T_{\alpha} = dP/d\alpha 1$ において $(\alpha 1, \beta 1) = (0, 1)$ とすると、

$$T_{\alpha b} = 3 \times T_{ba}$$

が得られる。従って、ベクトル $T_{\beta a}$ 、 $T_{\alpha b}$ は、制御ベクトル T_{ab} 、 T_{ba} の3倍となる。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0048

【補正方法】変更

【補正内容】

【0048】つまり、端点 PA での接線連続性を保ちつつ線要素 LE を変形する場合には、端点 PB での端点ベクトル A_{11} 及び制御ベクトル T_{ba} を任意に変化することができ、端点 PB での接線連続性を保ちつつ線要素 LE を変形する場合には、端点 PA での端点ベクトル A_{10} 及

*1)

または

$$P(x, y, z) = A_{10} (1 - \beta 1) + A_{11} \beta 1$$

となり通常の直線表現が得られる。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0046

【補正方法】変更

【補正内容】

【0046】この写像をもう少し詳しく説明すると、

$(\alpha 1, \beta 1) = (1, 0)$ のとき $P(x, y, z) = A_{10}$ となり、 $(\alpha 1, \beta 1) = (0, 1)$ のとき P

$(x, y, z) = A_{11}$ となるので、線要素 LE は、それぞれ係数ベクトル A_{10} 、 A_{11} で表わされる端点 PA 、 PB を通ることが分かる。また、写像式(11)をパラメータ $\beta 1$ で微分すると、点 PA から点 PB に向かう線要素 LE 上の接線ベクトル $T_{\beta} = dP/d\beta 1$ について、次式(12)が得られる：

$$\dots (12)$$

び制御ベクトル T_{ab} を任意に変化することができる。なお、端点 PA 又は端点 PB における曲率ベクトルは、それぞれ、曲率ベクトル $dP^2/d\beta 1^2$ 又は $dP^2/d\alpha 1^2$ の式に $(\alpha 1, \beta 1) = (1, 0)$ 又は $(0, 1)$ を代入することにより得られるが、端点 PA 又は端点 PB で曲率連続までも保持しつつ線要素 LE を変形する場合には、端点 PB の端点ベクトル A_{11} のみ又は端点 PA の端点ベクトル A_{10} のみしか変化することができない。

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0049

【補正方法】変更

【補正内容】

【0049】また、線要素 LE のデータ構造は、上述した図形形状データ〔線の2端点、直線化フラグ、制御点ベクトル、制御点オフセット(変形)〕の外、例えば、計量計算用分割数、制御ベクトル選択フラグ、表示/編集用のワークエリア(描画データ保持エリア、画面のちらつき防止用)、端点 I/O シーケンス $No.$ 等を備える。

【手続補正8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0052

【補正方法】変更

【補正内容】

【0052】面要素 SE のデータ構造は、具体的には、

三角面や四角面などの各面要素毎に、以下三角面要素（三角パッチ）SE tや四角面要素（四角パッチ）SE qの項で詳しく説明する図形形状データ〔面のn頂点（ $n=3, 4, \dots$ ）、面のn境界線（曲線）、内部制御点ベクトル〕の外、例えば、計量計算用分割数、制御点オフセット（変形）、内部制御点選択フラグ、色パレットNo.、マイナスパッチ用（穴表示）データ（zバッファ手前／奥距離等）、表示／編集用のワークエリア（描画データ保持エリア、画面のちらつき防止用）、頂点及び境界線I/OシーケンスNo.等を備える。ここで、面要素SEのn個の頂点もデータとして持つようにしているが、これらは、面要素SEの境界線の端点を表わすデータである。これらの頂点データは、境界線の繋がり状態を考慮して境界線の端点を配置したものであり、各々どれか2本の境界線の端点且つ交差点となっている。

【手続補正9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0058

【補正方法】変更

【補正内容】

【0058】面積座標（ $\alpha 2, \beta 2, \gamma 2$ ）は、面が本質的に二次元である故、実は2つの独立なパラメータ（ p, q ）から計算できる筈なので、これらの関係は、

$$\alpha 2 = 1 - \beta 2 - \gamma 2$$

$$\beta 2 = p$$

$$\gamma 2 = q$$

で定義することができる。この定義によると、任意の点（ p, q ）に対して $\alpha + \beta + \gamma = 1$ の関係が成立することから、座標（ $\alpha 2, \beta 2, \gamma 2$ ）は何らかの3つの量の比を表わしていると考えられる。実際、図7のように、或る三角形 $\triangle ABC$ について、その内点S（ p, q ）で分割したときの3つの三角形の面積比を表わしている。また、このように面積座標（ $\alpha 2, \beta 2, \gamma 2$ ）が決まると、パラメータ（ p, q ）に対応する点の三次元空間での座標P（ x, y, z ）は、例えば、次に説明するような面積座標（ $\alpha 2, \beta 2, \gamma 2$ ）の総三次式により計算される。

【手続補正10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0061

$$P(x, y, z) = (1/3) (A_{20} + A_{21} + A_{22}) + (5/27) (T_{ab} + T_{ba} + T_{bc} + T_{cb} + T_{ca} + T_{ac}) + (2/9) V_s \quad \dots (20)$$

となり、平面からのずれが境界線と内部制御点ベクトルVsにどのように影響されているかを推察することができる。ここで、例えば、境界線Labが直線であるとすれば、

$$T_{ab} = (A_{21} - A_{20}) / 3$$

$$P(x, y, z) = (1/3) (A_{20} + A_{21} + A_{22})$$

*【補正方法】変更

【補正内容】

【0061】上述の変換式（19）は、三角面要素SE tの境界線上では線（曲線）要素LEの写像式（11）に一致しなければならないが、実際、境界線Labについては、

$\alpha 2 + \beta 2 = 1$ および $\gamma 2 = 0$ が成立するので、これを式（19）に代入すると、式（11）が導かれる。同様に、他の境界線Lbc, Lcaについてもサイクリックに変数を置換すると、同じ変換が成立していることが解る。つまり、この写像式（19）は、三角面要素SE tの境界線Lab~Lcaを含む曲面を表現している。なお、式（19）において面積座標パラメータ（ $\alpha 2, \beta 2, \gamma 2$ ）を夫々（1, 0, 0）、（0, 1, 0）、（0, 0, 1）とすれば、頂点ベクトルA20~A22で表わされる頂点PA, PB, PCを三角面が通過することは、容易に理解することができる。

【手続補正11】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0062

【補正方法】変更

【補正内容】

【0062】図7において、頂点PA, PB間の境界線Lab上におけるパラメータ値 $\alpha 2 = 2/3, \beta 2 = 1/3, \gamma 2 = 0$ の中間点Pab、及び、 $\alpha 2 = 1/3, \beta 2 = 2/3, \gamma 2 = 0$ の中間点Pbaは、それぞれ、制御ベクトルTab, Tbaに対応する点であり、他の境界線Lbc, Lcaの中間点Pbc, Pcb; Pca, Pacについても、同様である。また、面内制御ベクトルVsは、図7に“×”印で示す $\alpha 2 = 1/3, \beta 2 = 1/3, \gamma 2 = 1/3$ の点Soを写像した面内制御点に対応し、三角面要素SE tの重心付近での膨らみ／凹みを制御するものである。

【手続補正12】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0063

【補正方法】変更

【補正内容】

【0063】式（19）において、（ $\alpha 2, \beta 2, \gamma 2$ ）=（1/3, 1/3, 1/3）とすると、

$$T_{ba} = (A_{20} - A_{21}) / 3$$

となり、

$$T_{ab} + T_{ba} = 0$$

となる。同様に、他の境界線Lbc, Lcaも直線であるとすれば、

$$+ (2/9) V_s \quad \dots (21)$$

となるので、真の平面からのずれは $2/9 V_s$ となることが解る。つまり、内部制御点ベクトル V_s が $V_s = 0$ のときは、面は平面を表わし、この意味で内部制御点ベクトル V_s は重心付近の脹らみと凹みを制御するものである。なお、内部制御点ベクトル V_s の基準値（デフォルト値）として $V_s = 0$ を用意しておくことができる。

【手続補正13】

※

$$1 - (\alpha_2 + \beta_2 + \gamma_2 + \delta_2) = 0 \quad \dots (26)$$

また、2つの四角形面積パラメータ（例えば、 α_2 、 β_2 ）の値が決まれば、4つの三角形の頂点Sの位置が決まることから、残りの四角形面積パラメータ（例えば、 γ_2 、 δ_2 ）の値は定まる。さらに、三角形の三つの面積座標（ α_2 、 β_2 、 γ_2 ）を四つの面積座標系（ α_2 、 β_2 、 γ_2 、 δ_2 ）に線形変換することにより、同じ面要素を四角形面積座標系（ α_2 、 β_2 、 γ_2 、 δ_2 ）で表現することができる。

【手続補正14】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0069

【補正方法】変更

【補正内容】

【0069】ここで、係数ベクトル $A_{50} \sim A_{55}$ は、4つ（頂点＝境界線の交差点PA、PB、PC、PD）の頂点ベクトル、8つ（各頂点間線分＝境界線の両端）の線制御ベクトル T_{ab} 、 T_{ba} 、 T_{bc} 、 T_{cb} 、 T_{cd} 、 T_{dc} 、 T_{da} 、 T_{ad} 、及び、4つの面内制御ベクトル V_{sa} 、 V_{sb} 、 V_{sc} 、 V_{sd} の計16個の制御変数から算出される。つまり、 $A_{40} \sim A_{43}$ ＝頂点PA～PDの実空間座標値、 $A_{44} = 3 \times (A_{40} + T_{ab})$ 、 $A_{45} = 3 \times (A_{41} + T_{ba})$ 、 $A_{46} = 3 \times (A_{41} + T_{bc})$ 、 $A_{47} = 3 \times (A_{42} + T_{cb})$ 、 $A_{48} = 3 \times (A_{42} + T_{cd})$ 、 $A_{49} = 3 \times (A_{43} + T_{dc})$ 、 $A_{50} = 3 \times (A_{43} + T_{da})$ 、 $A_{51} = 3 \times (A_{40} + T_{ad})$ 、 $A_{52} = 9 \times (A_{40} + T_{ab} + T_{ad} + V_{sa})$ 、 $A_{53} = 9 \times (A_{41} + T_{bc} + T_{ba} + V_{sb})$ 、 $A_{54} = 9 \times (A_{42} + T_{cd} + T_{cb} + V_{sc})$ 、 $A_{55} = 9 \times (A_{43} + T_{da} + T_{dc} + V_{sd})$ である。なお、この計算式もモデル座標系上のものであり、ローカル座標系で計算するときは、頂点ベクトル $A_{40} \sim A_{43}$ 及び制御ベクトル T_{ab} 、 T_{ba} 、 T_{bc} 、 T_{cb} 、 T_{cd} 、 T_{dc} 、 T_{da} 、 T_{ad} 、 V_{sa} 、 V_{sb} 、 V_{sc} 、 V_{sd} をそれぞれローカル座標系に変換せねばならない。

【手続補正15】

※

$$P = P(\alpha_2, \beta_2, \gamma_2, \dots, \nu_2) \quad \dots (28)$$

$$1 - (\alpha_2 + \beta_2 + \gamma_2 + \dots + \nu_2) = 0 \quad \dots (29)$$

なお、式(29)は、次式(30)～(32)の関係か★ ★ら導出される：

$$1 - (\alpha_2 + \beta_2) = k_2 S_{ab}$$

$$1 - (\beta_2 + \gamma_2) = k_2 S_{bc}$$

$$1 - (\gamma_2 + \delta_2) = k_2 S_{cd}$$

.....

$$1 - (\nu_2 + \alpha_2) = k_2 S_{na}$$

※【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0066

【補正方法】変更

【補正内容】

【0066】なお、四角形面積座標パラメータ α_2 、 β_2 、 γ_2 、 δ_2 にも次式(26)に示す関係がある：

※【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0070

【補正方法】変更

【補正内容】

【0070】この変換式(27)も各々の境界線については、連続性の点から線分の変換式(11)に一致しなければならないが、例えば、境界線 L_{ab} 上では、 $\alpha_2 + \beta_2 = 1$ および $\gamma_2 = \delta_2 = 0$ が成立するので、これを式(27)に代入すると、実際、式(11)が導かれる。同様に、他の境界線 $L_{bc} \sim L_{da}$ についてもサイクリックに変数を置換すると、同じ変換が成立していることが解る。つまり、この写像式は、四角面要素 SE_q の境界線 $L_{ab} \sim L_{da}$ を含む曲面を表現している。なお、式(27)において $(\alpha_2, \beta_2, \gamma_2, \delta_2)$ を $(1, 0, 0, 0)$ 、 $(0, 1, 0, 0)$ 、 $(0, 0, 1, 0)$ 、 $(0, 0, 0, 1)$ とすれば、それぞれ、頂点ベクトル $A_{40} \sim A_{43}$ が得られることから、四角面が頂点PA～PDを通過することは容易に解る。

【手続補正16】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0073

【補正方法】変更

【補正内容】

【0073】〔C〕 n 角面要素：面要素 SE は、一般的に説明すると、図11に示すように、面積値「1」の正 n 角形 $ABC \dots N$ を用いる n 角形面積座標パラメータにより n 角形の面要素 SE を定義する場合、次式(28)、(29)が成立し、 n 個の面積座標パラメータの値は、2つの三角形の面積（例えば、 S_{ab} 、 S_{na} ）の値が決まれば、他の全ての面座標パラメータの値は定まる：

… (30)

$$S_{ab} + S_{bc} + S_{cd} + \dots + S_{na} = 1 \quad \dots (31)$$

$$k_2 = n - 2 \quad \dots (32)$$

ただし、 S_{ab} , S_{bc} , S_{cd} , …, S_{na} は、辺A
N, BC, CD, …, NAの上に立つ小三角形 $\triangle SAB$
 $\triangle SBC$, $\triangle SCD$, …, $\triangle SNA$ の面積であり、
形状計数 k_2 は、例えば、三角形ABC ($n=3$) の場
合 $k_2=1$ 、四角形ABCD ($n=4$) の場合 $k_2=2$
となるのである。

【手続補正17】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0074

【補正方法】変更

【補正内容】

＊

$$P = P(\alpha_3, \beta_3, \gamma_3, \dots, \nu_3) \quad \dots (33)$$

$$1 - (\alpha_3 + \beta_3 + \gamma_3 + \dots + \nu_3) = 0 \quad \dots (34)$$

なお、式(34)は、次式(35)～(37)の関係か※ ※ら導出される：

$$1 - (\alpha_3 + \beta_3 + \gamma_3 + \dots) = k_3 \cdot V_a$$

$$1 - (\beta_3 + \gamma_3 + \dots + \dots) = k_3 \cdot V_b$$

$$1 - (\gamma_3 + \dots + \dots + \dots) = k_3 \cdot V_c$$

……

$$1 - (\dots + \dots + \nu_3 + \alpha_3) = k_3 \cdot V_n \quad \dots (35)$$

$$V_a + V_b + V_c + \dots + V_n = 1 \quad \dots (36)$$

$$k_3 = n - 3 \quad \dots (37)$$

【手続補正18】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0076

【補正方法】変更

【補正内容】

【0076】例えば、六面体要素VEhについては、8
つの六面体体積座標パラメータ α_3 , β_3 , γ_3 , δ_3 ★

★ ϵ_3 , ξ_3 , η_3 , θ_3 は、図12(2)のよう
に、体積「1」の正六面体ABCDEFGHを内点V
(p, q, r)で分割して(内点Vを通りp, q, r軸
に平行な面で区切って)得られる8つの小直方体(端点
A～Hとは、その対向に当たるものが順次対応する。例
えば、パラメータ α_3 は、端点Aの対向に当たる斜線部
の小直方体に対応する。)の体積を意味しており、

$$\alpha_3 + \beta_3 + \gamma_3 + \delta_3 + \epsilon_3 + \xi_3 + \eta_3 + \theta_3 = 1 \quad \dots (38)$$

の関係がある。そして、正六面体ABCDEFGHの内
部の点V(p, q, r)対角について次式(39)のよ
うな写像式が得られる：

☆【補正対象項目名】0077

【補正方法】変更

【補正内容】

【手続補正19】

【0077】

【補正対象書類名】明細書

☆

$$\begin{aligned} P = & A_{60} \alpha_3^3 + A_{61} \beta_3^3 + A_{62} \gamma_3^3 + A_{63} \delta_3^3 \\ & + A_{64} \epsilon_3^3 + A_{65} \xi_3^3 + A_{66} \eta_3^3 + A_{67} \theta_3^3 \\ & + A_{68} \alpha_3^2 \beta_3 + A_{69} \alpha_3 \beta_3^2 \\ & + A_{70} \beta_3^2 \gamma_3 + A_{71} \beta_3 \gamma_3^2 \\ & + A_{72} \gamma_3^2 \delta_3 + A_{73} \gamma_3 \delta_3^2 \\ & + A_{74} \delta_3^2 \alpha_3 + A_{75} \delta_3 \alpha_3^2 \\ & + A_{76} \alpha_3^2 \epsilon_3 + A_{77} \alpha_3 \epsilon_3^2 \\ & + A_{78} \epsilon_3^2 \xi_3 + A_{79} \epsilon_3 \xi_3^2 \\ & + A_{80} \beta_3^2 \xi_3 + A_{81} \beta_3 \xi_3^2 \\ & + A_{82} \xi_3^2 \eta_3 + A_{83} \xi_3 \eta_3^2 \\ & + A_{84} \gamma_3^2 \eta_3 + A_{85} \gamma_3 \eta_3^2 \end{aligned}$$

+	A86	$\eta 3^2$	$\theta 3$	+	A87	$\eta 3$	$\theta 3^2$		
+	A88	$\delta 3^2$	$\theta 3$	+	A89	$\delta 3$	$\theta 3^2$		
+	A90	$\theta 3^2$	$\delta 3$	+	A91	$\theta 3$	$\delta 3^2$		
+	A92	$\delta 3$	$\alpha 3$	$\beta 3$	+	A93	$\alpha 3$	$\beta 3$	$\gamma 3$
+	A94	$\beta 3$	$\gamma 3$	$\delta 3$	+	A95	$\gamma 3$	$\delta 3$	$\alpha 3$
+	A96	$\theta 3$	$\varepsilon 3$	$\xi 3$	+	A97	$\varepsilon 3$	$\xi 3$	$\eta 3$
+	A98	$\xi 3$	$\eta 3$	$\theta 3$	+	A99	$\xi 3$	$\theta 3$	$\varepsilon 3$
+	AA0	$\varepsilon 3$	$\alpha 3$	$\beta 3$	+	AA1	$\alpha 3$	$\beta 3$	$\xi 3$
+	AA2	$\beta 3$	$\xi 3$	$\varepsilon 3$	+	AA3	$\xi 3$	$\varepsilon 3$	$\alpha 3$
+	AA4	$\xi 3$	$\beta 3$	$\gamma 3$	+	AA5	$\beta 3$	$\gamma 3$	$\eta 3$
+	AA6	$\gamma 3$	$\eta 3$	$\xi 3$	+	AA7	$\eta 3$	$\xi 3$	$\beta 3$
+	AA8	$\eta 3$	$\gamma 3$	$\delta 3$	+	AA9	$\gamma 3$	$\delta 3$	$\theta 3$
+	AB0	$\delta 3$	$\theta 3$	$\eta 3$	+	AB1	$\theta 3$	$\eta 3$	$\gamma 3$
+	AB2	$\theta 3$	$\delta 3$	$\alpha 3$	+	AB3	$\delta 3$	$\alpha 3$	$\varepsilon 3$
+	AB4	$\alpha 3$	$\varepsilon 3$	$\theta 3$	+	AB5	$\varepsilon 3$	$\theta 3$	$\delta 3$
+	AB6	$\beta 3$	$\varepsilon 3$	$\delta 3$	+	AB7	$\alpha 3$	$\xi 3$	$\gamma 3$
+	AB8	$\beta 3$	$\eta 3$	$\delta 3$	+	AB9	$\theta 3$	$\alpha 3$	$\gamma 3$
+	AC0	$\theta 3$	$\alpha 3$	$\xi 3$	+	AC1	$\eta 3$	$\beta 3$	$\varepsilon 3$
+	AC2	$\xi 3$	$\gamma 3$	$\theta 3$	+	AC3	$\eta 3$	$\varepsilon 3$	$\delta 3$

… (39)

【手続補正20】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0079

【補正方法】変更

【補正内容】

【0079】実用上は、立体要素VE内部の点は必要とされる場合が少ないので、四面体要素VEq、五面体要素VEp及び六面体要素VEhを面要素SEで立体要素VEの表面を表現する手法が簡便であり、これで十分に有用し得る。従って、以下に説明する実用的な立体要素VEのデータ構造は、具体的には、四面体、五面体や六面体などの各立体要素毎に、図形状データ〔頂点、境界線（曲線）、境界面〕の外、例えば、計量計算用分割数、制御点オフセット（変形）、表示／編集用のワークエリア（描画データ保持エリア、画面のちらつき防止用）、頂点、境界線及び境界面I/OシーケンスNo.等を備える。ここで、面要素SEのn個の頂点もデータとして持つようにしているが、これらは、面要素SEの境界線の端点を表わすデータである。これらの頂点データは、境界線の繋がり状態を考慮して境界線の端点を配置したものであり、各々どれか2本の境界線の端点且つ交差点となっている。

【手続補正21】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0080

【補正方法】変更

【補正内容】

【0080】〔A〕四面体要素VEq：四面体要素VEqは、三角面が4つ張り合わさった立体として表現されるもので、形状を表現するためのデータは、単純に、こ

れら4つの境界面のデータである。形状表現データには、境界面を構成する面の頂点と境界線のデータも持っている。これらのデータは面の繋がりを配慮して配置している。

【手続補正22】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0081

【補正方法】変更

【補正内容】

【0081】〔B〕五面体要素VEp：五面体要素VEpは、上下2つの三角面と、これらの三角面に繋がる3つの四角面が張り合わさった立体として表現されるもので、形状を表現するためのデータとしては、合計5つのこれら境界面データを持っており、四面体要素VEqと同様、境界面を構成する面の頂点や境界線のデータも含まれる。

【手続補正23】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0082

【補正方法】変更

【補正内容】

【0082】〔C〕六面体要素VEh：六面体要素VEhは、上下2つの四角面と、これらの四角面に繋がる4つの四角面が張り合わさった立体として表現されるもので、形状を表現するためのデータとしては、合計6つのこれら境界面データを持っており、他の立体要素VEq、VEpと同様、境界面を構成する面の頂点や境界線のデータも含まれる。

【手続補正24】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0089

【補正方法】変更

【補正内容】

【0089】〔システムの概要〕図14は、この発明による3次元CADシステムのハードウェア構成例を示すブロック図である。この例では、システムは、CPU（中央処理装置）1、記憶装置2、キーボードやマウス等の入力操作装置3、ディスプレイ等の表示装置4を備え、これらの装置1～4は、バス5を介して互いに接続されている。システム全体を制御するCPU1は、所定のプログラムに従って種々の制御を行い、特に、この発明による3次元図形処理を中核的に遂行する。記憶装置2は、基本プログラム、各種図形処理プログラムや固定データ/パラメータを記憶したROM（読出専用メモリ）、各種データ等を一時記憶するRAM（ランダムアクセスメモリ）の外、ハードディスクドライブ（HDD）やCD-ROMドライブ/FD（フロッピーディスク）ドライブ等の外部記憶装置から成り、これらの外部記憶装置には、各種図形処理プログラムや各種図形データ/パラメータが記憶されている。

【手続補正25】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0090

【補正方法】変更

【補正内容】

【0090】また、入力操作装置3は、ディスプレイ4に表示される各種画面を視認しつつ操作することにより、3次元図形処理を遂行することができる。この例では、バス5にインターフェイス6を介してプリンタ7やプロッタ8等の出力装置が接続され、例えば、プロッタ8により3次元図形を作図することができる。

【手続補正26】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0096

【補正方法】変更

【補正内容】

【0096】続いて、同様の処理により別の六面体（VEh）を入力すると、図16（b）のように2つの六面体が生成される。このように、六面体を構成するための頂点を先ず定義することが、本質的であり、基本図形作成の一つの基本となる。

【手続補正27】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0097

【補正方法】変更

【補正内容】

【0097】（2）基本図形の設定及び生成

ルーチンR2においては、基本図形要素の合成/結合や分割により、基本図形BTの設定及び生成を行う。例えば、図16（b）の上部の六面体（VEh）は、底面を

除去し底面の4つの境界（周囲）線の共有を解いて、上面と4つの側面から成る（底面を除く）5つの四角面（SEq）に分割し、底面を有しない六面体を表わす四角面組Aを生成する。また、下部の六面体（VEh）は、上面を除去し4つの境界（周囲）線の共有を解いて、底面と4つの側面から成る（上面を除く）5つの四角面（SEq）に分割し、上面を有しない六面体を表わす四角面組Bを生成する。これにより、図16（b）の2つの六面体（VEh）を、底面又は上面を有しない四角面組A、Bに分割することができる。或いは、基本作図の当初段階（ルーチンR1）において、基本作図メニューボックスから「点」又は「四角面」を指定する前述の手法を用いて、5つの四角面（SEq）を2組作成し各組の四角面（SEq）を合成/結合する〔各組の四角面（SEq）に境界（周囲）線を共有させる〕ことによって、底面又は上面がない六面体を表わす四角面組A、Bを作成することができる。

【手続補正28】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0098

【補正方法】変更

【補正内容】

【0098】次に、このようにして得られた上部四角面組（底面なし六面体）Aの下側4頂点と下部四角面組（上面なし六面体）Bの上側4頂点とを結ぶ4つの「線」を新たに定義し、さらに、これらの「線」並びに両四角面組A、Bの下辺及び上辺を形成する各4境界（周囲）線を用いて、両四角面組A、B間に、図17（c）のように、4つの四角面（SEq）Cを定義する。これにより、夫々5つの四角面より成る2つの四角面組A、B間を4つの四角面（SEq）Cで繋いだ内空の基本図形BTを設定することができる。なお、図16（a）、（b）に示されるような何ら分割/合成しない基本図形要素そのものも、もちろん、基本図形BTとして取り扱うことができる。

【手続補正29】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0099

【補正方法】変更

【補正内容】

【0099】（3）基本図形の変形

ルーチンR3では、基本図形BTにおける基本図形要素の種々の制御ベクトルを調整することにより、基本図形BTの変形が行われる。基本作図画面の変形メニューボックスで「線分の拡大/縮小」を指定し所望の頂点及び移動先（量）を指示すると、図17（c）の基本図形BTの対応する頂点ベクトルが制御され、例えば、下部四角面組Bの水平な境界（周囲）線を拡大させる処理により、図17（d）のような内空の変形図形HTを生成することができる。また、図17（d）の変形図形HTに

対して、上部四角面組Aの垂直な境界（周囲）線を均等に拡大し、下部四角面組Bの垂直な境界（周囲）線を不均等に拡大する処理により、図18（e）のような内空の変形図形HTを生成することができる。

【手続補正30】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0100

【補正方法】変更

【補正内容】

【0100】図18（e）のような変形図形HTに対して、さらに、例えば、角筒状の上部及び下部の四角面組A、Bに丸みを付けて、円筒、或いは、丸みのある角部を有する角筒に変形することができる。このためには、基本作図画面の変形メニューボックスで「連続化」を指定し、上部四角面組Aについては、12本の境界線から、4本の垂直な境界線を除く8本の上下部の境界線を選択すると、各境界線について、互いの接続点における互いの線制御ベクトル（接線ベクトル）LVを、方向が逆で大きさが同一とする接線連続化処理が実行されて、図19（f）の上部に示すように、各境界線が滑らかに接続され、上部四角面組Aが円筒状に変形される。

【手続補正31】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0101

【補正方法】変更

【補正内容】

【0101】これと同様の接線連続化処理を下部四角面組Bについても適用し、互いに同一にされる線制御ベクトル（接線ベクトル）LVの大きさを、上部四角面組Aの処理の場合よりも、大きくすると、図19（f）の下部に示すように、滑らかに境界線が接続され、下部四角面組Bは、角部に丸みが付けられた角筒に変形される。このようにして同図に示されるような変形図形HTが得られる。つまり、図18（e）の両四角面組A、Bの上部及び下部の境界線の接続部に、線制御ベクトルLVの方向及び大きさ（曲率）を合わせる連続化処理を、上下部では異なる曲率で施すと、図19（f）のように、両四角面組A、Bの4つの四角面（SEq）を滑らかに繋ぎ合わせ、処理径に応じて、上部四角面組Aを円筒化し、下部四角面組Bの側面角部にフィレット処理と同様の丸み付けを行うことができる。

【手続補正32】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0102

【補正方法】変更

【補正内容】

【0102】さらに、上下各四角面組A、Bの縦方向の境界線と、中間の四角面組Cの境界線との接続部において、互いの境界線の線制御ベクトルLVを逆方向とし異なる大きさ（曲率）とする接線連続化処理を行うと、図

20（g）のような変形図形HTが得られる。つまり、図19（f）において、上部四角面組（円筒部）A－中間四角面組（繋ぎ部）C－下部四角面組（丸み付き角筒部）B間で、縦方向に接続する部分に、線制御ベクトルLVの方向を合わせる連続化処理を各接続部では異なる曲率で施すと、図20（g）のように、これらの四角面組A、B、Cが滑らかに繋ぎ合わされた変形図形HTが得られる。

【手続補正33】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0105

【補正方法】変更

【補正内容】

【0105】以上説明したように、この発明の一実施例による3次元CADシステムでは、以下の（1）～（9）のような特徴を有する。

（1）図16～図20に示すように、面要素SEで定義された基本トポロジー図形BTを変形して新たな連続空間図形（同一トポロジー図形）HTを次々と生成していくことができる。従って、面が連続的に定義され、CAMの加工面やCAEのメッシュデータがCADデータと共有することが可能となる。つまり、基本的に、ベクトル係数（A1～A10等）を決定して設定した位置ベクトル関数Pにより表わされる多数の曲面SEによって基本トポロジー図形BTを作成し、さらに、作成された基本トポロジー図形を変形し更にこれを変形して同一トポロジーを有する同一トポロジー図形HTを順次生成することができる。この場合、基本トポロジー図形BTや変形トポロジー図形HT上で連続した面は、これを変形した後の同一トポロジー図形HTにおいても連続しており、面の接線連続を保つ機能や、面の曲率の連続性を制御する機能を持っている。

【手続補正34】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】符号の説明

【補正方法】変更

【補正内容】

【符号の説明】

$\alpha 1, \beta 1$ 直線座標パラメータ、
 $\alpha 2, \beta 2, \gamma 2, \delta 2$ 面積座標パラメータ、
 $\alpha 3, \beta 3, \gamma 3, \dots$ 体積座標パラメータ、
 PE, LE, SE, VE 点要素、線要素、面要素及び立体要素（基本図形要素）、
 PA, PB, PC, PD 頂点ベクトル、
 PL, LL, SL, VL 点リスト、線リスト、面リスト及び立体リスト、
 RC リファレンスカウンタ、
 BT 基本図形（基本トポロジー図形）、
 HT 変形後の種々の立体図形（同一トポロジー図形）。

* 【補正方法】変更
【補正内容】
【図 8】



※【補正方法】変更
【補正内容】
※【図 10】



フロントページの続き

(72)発明者 吉田 康彦
愛知県安城市二本木町二ツ池28番地 1 サ
イテック株式会社内
(72)発明者 椎葉 英二
愛知県安城市二本木町二ツ池28番地 1 サ
イテック株式会社内

F ターム(参考) 5B046 BA10 CA04 DA10 EA01 FA04
FA06 FA12 FA17 FA18 FA20
GA01 GA02 HA05
5B050 AA03 BA09 CA07 DA10 EA19
EA28 EA30 FA02 FA03 FA06
FA13